

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Magistritöö loodusgeograafias ja maastikuökoloogias

Suvekuude tulvad Eesti jõgedel 1935–2015

Egert Indres

Juhendaja: PhD Mait Sepp

Tartu 2021

Infoleht

Suvekuude tulvad Eesti jõgedel 1935–2015

Antud uurimustöö eesmärgiks oli uurida, **(1)** millised on Eesti jõgede tulvad ning nende peamised parameetrid, **(2)** uurida ajalis-ruumilist dünaamikat – millistes jõgedes ilmneb padusaju korral tulvavarem, millistes hiljem ning millal oli tulva tipp samaaegsuse kontekstis ja **(3)** uurida hüdrometeoroloogilisi tingimusi ning Eesti jõgedel tulvasid tekitavate madalrõhkkondade päritolu ja trajektoori. Uurimustöös kasutati Keskkonnaagentuuri, Wetterzentrale ja tsüklonite keskmete andmeid. Käesolevas töös tuvastati kokku 23 suuremat tulvajuhtumit, neist valdav osa (19) jagunevad selgelt kolme perioodi, mis ühtlasi langevad kokku sademeterohkemate aastatega. Lisaks leiti kokku 33 tsüklonit, mis tõid Eestisse intensiivsemad sajuhood, põhjustades seeläbi tulva. Neist 16 olid läänetsüklonid, 15 lõunatsüklonid ja kaks tsüklonid said alguse Rõbinski veehoidla kohal. Selgus, et teravaimad tipud on väga väikeste valgadega jõgedel, kus tugeva sajuhoo järel äravool kasvab kiirelt ning tugevamad sajuhood said alguse kuni kaks ööpäeva enne suurema tulvajuhtumi algust.

Märksõnad: tulv, äravool, tsüklon, tugevad sajuhood

CERCS kood: P500

Abstract

Flash floods in Estonian rivers during summer months throughout 1935–2015

This research aims to investigate **(1)** flash floods in Estonian rivers and what are the parameters of these floods, **(2)** time-spatial dynamics of flooding in different rivers, where it occurs earlier, when was the peak and how many rivers had their peaks simultaneously, and **(3)** investigate hydrometeorological conditions, trajectories, and region of formation of cyclones causing flash floods in Estonia. In the analysis datasets used were from Estonian Environment Agency, Wetterzentrale and cyclone center database. In total, 23 major flash floods were found during the summer months, 19 of which could be divided into three distinct periods, where floods occurred more often. These periods coincided with wetter years. In addition, a total of 33 cyclones were causing these flash floods. Sixteen of these were western, 15 southern cyclones, and two formed nearby Rybinsk Water Reservoir. In conclusion, the peaks of the flash floods were sharper at small river systems, where runoff increases faster and intense rainfalls occur up to two days before flash flood occurs.

Keywords: flash flood, runoff, cyclone, intense rainfall

CERCS code: P500

Sisukord

SISSEJUHATUS.....	5
1. TEOREETILINE TAUST.....	7
1.1 Tulva tekkepõhjused ja definitsioon.....	7
1.2 Tulvade varasem uuritus.....	9
1.3 Tulvade mõju ühiskonnale.....	13
1.4 Tulvad muutuvast kliimas.....	15
1.5 Tulvade uurimine Eestis	16
2. ANDMED JA METOODIKA.....	20
2.1 Andmete kvaliteet.....	27
3. TULEMUSED.....	29
3.1 Tulvade kirjeldused	31
3.1.1 Esimene vahemik: 1935–1959.....	32
1935. aasta.....	32
1942. aasta.....	34
1943. aasta.....	35
1944. aasta.....	39
1948. aasta.....	41
1949. aasta.....	42
3.1.2 Teine vahemik: 1960–1984.....	44
1961. aasta.....	44
1962. aasta.....	45
1978. aasta.....	48
1981. aasta.....	50
3.1.3 Kolmas vahemik: 1985–2015	53
1987. aasta.....	54
1998. aasta.....	55

2004. aasta	58
2008. aasta	60
2009. aasta	62
3.2 Tuvade aegsed tsüklonid Eesti piirkonnas	63
4. ARUTELU JA JÄRELDUSED	67
5. KOKKUVÕTE	71
SUMMARY	73
TÄNUAVALDUSED	75
KASUTATUD KIRJANDUS	76
Interneti allikad	83
Õigusaktid	84
LISAD	85
LISA 1	85

SISSEJUHATUS

Jõgesid leidub üle maailma palju, mis erinevad oma suuruse, valgala, kohaliku kliima, pinnase ja maastiku poolest. Tegemist on kompleksse süsteemiga, mis sageli algab ühest väikesest ojast ning võib kujuneda suureks peajõeks, kuhu suubuvad kõik tema lisajõed. Uurimusi tulvadest on tehtud palju, kuid uuritus erineb piirkonniti. Ühelt poolt nähakse probleemi andmete kättesaadavuses, mis pärsib kvaliteetse uurimuse tegemist (Gaume *et al.* 2009). Teisalt on takistuseks mõõtejaamade võrgustiku madal tihedus ja tulvade lokaalsus, mistõttu võivad paljud juhtumid „peitu jääda”. (Borga *et al.* 2008, Gaume *et al.* 2009). Kuna andmestik täieneb aja jooksul ning tehnoloogia areneb, siis annab see võimaluse tulvade paremaks uurimiseks.

Tulvade uurimine on muutumas järjest aktuaalsemaks teemaks kogu maailmas, seda kahel peamisel põhjusel. Esiteks, järjest rohkem tiheasustusalasid rajatakse jõgede äärde ning suurenevad need linnad, mis juba varem. Selle tulemusel tekib valgaladele rohkem tehispindasid, soodustades sellega tulva tekkimise riske (Barredo 2006, Tamm 2015). Seetõttu on oluline, et linna planeerimisel jõgede lähedusse arvestatakse ka vee äravoolusüsteemiga, mis suudaks vähendada tulvade poolt kaasnevaid kahjusid (Gauk 2015). Maailmast leiab mitmeid näiteid, kus suvisel ajal sajuhoogude tulemusel tekivad jõgedes tulvad, mis tabavad tihedalt asustatud ala ning tuues kaasa suured kahjud ja inimohvreid. Näiteks 1979. aasta Lääne-Indias asuva Morbi linna tulv, kus hinnanguliselt hukkus kuni 25 000 inimest (Dhar *et al.* 1981) või 2010. aasta Pakistanis olnud Induse jõe tulv, mille tulemusel hävines või sai kahjustada umbes 20 miljoni inimese vara (Hashmi *et al.* 2012).

Teiseks, kliimamuutused on kaasa toonud ekstreemsete sademete sagenemise ja muutuseid jõgede voolurežiimides. Selle tulemusel kardetakse aina enam tulvasid, mis tugevate paduvihmade tagajärjel jõgedel tekivad. Lisaks mõõdetakse jaamades aina enam uusi hüdroloogilisi rekordeid (sademed, veetase, vooluhulk jne), millega kaasneb pingeline arutelu inimese mõjust kliimamuutustele (Alfieri *et al.* 2015). Arvestades, et järjest rohkem inimesi asub elama jõgede lähedale, kas siis parema elukeskkonna või ärihuvide tõttu, kaasneb hirm varaliste kahjude ja inimohvrite ees. Eriti ohtlikuks võib olukord kujuneda siis, kui pärast mitut päeva kestnud paduvihmasid pais puruneb, põhjustades enneolematult ohtliku tulva. Eelkirjeldatud stsenaarium realiseerus 1979. aastal Morbi linnas, mil Machchhu jõel oleva paisu taha kogunenud sademete vesi end läbi murdis ning kogu asula täielikult üle ujutas (Dhar *et al.* 1981).

Eesti kontekstis on suvise tulva esinemine harv nähtus, eelkõige tasase maastiku tõttu. Lisaks on sademete summad suhteliselt väikesed. Sellest hoolimata esineb ka Eestis ägedaid sajuhooge ja jõgedel lühiajalisi järske äravoolu kasve ehk tulvasid. Käesolevas töös mõeldakse tulvade all just suurtest vihmadest suvise madalvee perioodil tekkinud äkilisi tõuse jõe äravoolumooduli väärtustes. Juhtumid, kus tõusu põhjustas paisu purunemine või mõni muu hüdrotehniline avarii, arvati välja.

Käesoleva töös tehakse kokkuvõtte erinevatest uurimustest ning varasemast ajaloost, kuidas tulva kui sündmust defineeritakse, uuritusest Eestis ja vastatakse küsimusele missugused on tulvade tekkepõhjuste ning olemuste erinevad aspektid Eesti jõgedel.

Töö peamised eesmärgid on:

1. Selgitada välja, millised on Eesti jõgede tulvad ning nende peamised parameetrid.
2. Uurida ajalis-ruumilist dünaamikat – millistes jõgedes ilmneb paduvihma korral tulv varem, millistes hiljem ning millal oli tulva tipp samaaegsuse kontekstis.
3. Uurida hüdrometeoroloogilisi tingimusi ning Eesti jõgedel tulvasid tekitavate madalrõhkkondade päritolu ja trajektoori.

Uurimistööl on viis peatükki. Esimeses peatükis antakse ülevaade tulvade uurimisest, definitsioonist ja miks nende uurimine oluline on. Teine peatükk tutvustab andmestikku ja meetodikat. Kolmas peatükk annab ülevaate töö tulemustest, milleks on *case-study* põhine ülevaade Eesti olulisematest tulvadest. Neljas peatükk arutleb, kuidas tulva kulgemine erineb jõgedes, milline on nende ajaline ja ruumiline jaotumine ning missugused eeldused peaksid olema täidetud ulatuslikuma juhtumi tekkeks sademete ja tsüklonite kontekstis. Viies peatükk on kokkuvõtte.

1. TEOREETILINE TAUST

1.1 Tulva tekkepõhjused ja definitsioon

Tulvade peamiseks tekkepõhjuseks on tugevad sajuhood, kus sademete hulk võib suhteliselt lühikese aja jooksul ulatuda mitmesaja millimeetrini (küll mitte Eestis) ning mis toovad kaasa järsu veetaseme tõusu, kuid võivad kesta ka päevi või isegi nädalaid (Brázdil *et al.* 2006, Terranova, Gariano 2014). Tulvad võivad tekkida ka paisu ootamatu purunemise tagajärjel või maalihke tulemusel (National Weather Service). Ent tulvad ei pruugi tingimata tekkida üksnes ekstreemse sajuhoo tulemusel, vaid sõltuvad ka sellest, milline on valgala maakasutus. Seetõttu on tiheasustusalad väga tundlikud alad, kus pinnas peab hästi vett, mistõttu võib tulv tekkida ka suhteliselt tagasihoidliku sademete hulga korral (Gauk 2015). Kuna nendega tihti kaasnevad suuremad purustused, majanduslik kahju ja hukkunud, siis peetakse tulvasid looduskatastroofideks (Gaume *et al.* 2009, Terranova, Gariano 2014).

Hoolimata sellest, et tulva näol on tegemist potentsiaalselt ohtliku looduskatastroofiga, puudub nende osas ühene mõistmine ja definitsioon (Gaume *et al.* 2009). Senised andmestikud, mis Euroopa kohta leidub, vajavad täiendamist ning nendes pole hästi kajastatud tulva hüdro-meteoroloogilist olemust (Barredo 2006, Gaume *et al.* 2009). Siiski võib paljude tööde põhjal öelda, et ekstreemse tulva puhul on tavaliselt tegemist lühiajalise ootamatu sündmusega ning saab suurt meedia tähelepanu (Kundzewicz *et al.* 2010, Terranova, Gariano 2014, Gaume *et al.* 2016). Tulvade puhul tuleb siiski arvestada mitmete teguritega, näiteks valgala suurus, pinnamood, kliima ja inimasustusest tekkinud rajatised (Douben 2006, National Weather Service). Archer *et al.* (2019) toob välja, et tulva ja suurvee vahel puudub selge piir, mistõttu ühene defineerimine osutub keeruliseks ning pigem lähtutakse tulva tähenduse andmisel piirkonna omadustest (Mitchell 2003, Kundzewicz *et al.* 2010).

Tulva defineeritakse erinevalt, sõltuvalt sellest, milliseid tingimusi rakendatakse, näiteks kas lugeda ainult looduslikult tekkinuid või arvata tulvade hulka ka muudest teguritest põhjustatud juhtumeid. Nende kirjeldamisel kasutatakse ingliskeelses teaduskirjanduses kõige sagedamini terminit *flash flood* (otsetõlkes äkktulv), millega eristatakse äkilisi veetõuse tavalisest sesoonsest suurveest (ing. *flood*). Siinjuures tekitab segadust, et sõna “*flood*” tähistab inglise keeles ka üleujutust. Kõige selgemaks tulva definitsiooniks võib pidada Ameerika Ühendriikide Ilmateenistuse (*National Weather Service*) oma: „Suurvesi (*flood*), mis algab kuni kuus tundi pärast paduvihma või muu teguri tõttu. Tulvade peamiseks põhjuseks on ekstreemsed sajuhood, kuid võib alguse saada ka paisu purunemise tõttu.” (Gaume *et al.* 2016, National Weather

Service). Artiklis Gaume *et al.* (2009) on defineeritud tulvasid kui sündmusi, mis said alguse tugevast sajuhoost, sõltumata sellest, kui pika aja jooksul peale paduvihma järsk veetõus tekkis. Raamatus „Eesti ilma riskid” (Tammets 2012) defineeritakse tulva kui lühiajalist veetaseme tõusu, mille põhjustab kas paduvihm või kauakestev vihma sadu, kui tegemist on soojaperioodi tulvaga. Sarnase tähenduse toob välja ka Martin Gauk (2015), kes viitab Keskkonnaministeeriumi (2011) hinnangule Eesti üleujutusohuga seotud riskides, liigitades paduvihmadest tekkivaid üleujutusi kolmeks:

- **Äkktulvad** – kiired üleujutused, mis saavad alguse väiksematest ojadest või jõgedest, üleujutuse maksimum saavutatakse tundidega;
- **Sademe teest tingitud üleujutus tiheasustusaladel** – põhjustatud vettpidavate aladelt kiiresti äravoolavalt vihmaveest või lumesulaveest, lisaks võib esineda tõrkeid sademeveekanaliseerimises;
- **Sujuvalt kujunevad üleujutused** – põhjustatud pikaajaliste rohkete sademete või lume sulamise tõttu üleajavatest väiksematest jõgedest, ojadest või järvedest.

Territoriaalsel ulatusel ehk üle ujutatud alal pole definitsiooni järgi määratud selget piiri, kust maalt üleujutust tulvaks enam ei peeta. Sellest lähtuvad mitmed tööd, kus tulvade hulka arvati selliseid juhtumeid, mille ulatus oli üle 1000 km² (Delrieu *et al.* 2005, Gaume *et al.* 2009, Terranova, Gariano 2014, Gaume *et al.* 2016). Eraldi võiks välja tuua Delrieu *et al.* (2005), kus uuriti 2002. aasta septembris toimunud Gard'i regiooni (Prantsusmaa) tulva, mille põhjustasid ulatuslikud ja tugevad paduvihmad, kui 5 500 km² suurusel alal oli 24 tunni sademete hulk üle 200 mm, ulatudes kohati 700 mm-ni. Selle tulemusel hukkus 24 inimest ning kahjud ulatusid üle miljardi euro.

Tulva defineeritakse lisaks kui loodusõnnetust, mille korral olulisemaks faktoriks peetakse sotsiaalset ja majandusliku kahju, mitte ulatust. Hea näitena saab välja tuua Barredo (2006) töö, kus tulv loeti ohtlikuks siis, kui täidetud oli vähemalt üks järgmistest kriteeriumitest:

- Vähemalt 10 hukkunut;
- Vähemalt 100 inimest sai vigastada või jäi kodutuks;
- Tõi endaga kaasa olulise majandusliku kahju, kuid märkimata kindlat rahalist väärtust;
- Tõi endaga kaasa hädaolukorra regioonis või riigis, kus tulv aset leidis.

Kuigi tulvade tekkepõhjuseid on mitmeid ning tähendusi antud erinevaid, siis käesolevas töös lähtutakse juhtumitest, mis tekkisid tugevate sajuhoogude tulemusena ning on suhteliselt lühiajalised. Samuti ei arvestata üleujutuste pindala ning tekkinud kahjudega.

1.2 Tulvade varasem uuritus

Jõgede tulvade uurimine annab võimaluse näha, kuidas reageerib jõesüsteem või valgala kui piirkonda tabas tugev hoovihm. Sademed toovad välja valgala hüdroloogilises käitumises aspekte, mida pole varem nähtud (Borga *et al.* 2008). Näiteks Kirde-Inglismaal Tyne jõe puhul eeldati, et üleujutus tekib alles siis, kui veetase ületab paigaldatud kaitsevalle. 2005. aasta jaanuari tulv aga näitas, et vallid polnud piisavalt kvaliteetsed, et ekstreemsete juhtumite eest efektiivselt kaitsta. Vesi tungis läbi või läks kõrvalt mööda, tuues kaasa suured kahjud, peamiselt läbi kariloomade uppumiste (Archer *et al.* 2006).

Tulvajuhtumi aegsete sündmuste kirjeldamine võib anda uusi teadmisi valgala omaduste kohta. Peamised küsimused, millele tänapäeval üritatakse vastust leida – „Miks tulv aset leidis?“ või „Kui tihti selliseid tulvajuhtumeid võib esineda?“ Tehnoloogilise arengu tulemusel saab andmeid koguda oluliselt paremini, luues võimaluse arendada metoodikaid, mis ei põhine ainult mõõtejaamadest kogutavale (Borga *et al.* 2008). Järgnevalt tuuakse välja tulvade uurimise ajalugu läbi näidete metoodikatest ja teooriatest, mis omal ajal löid aluse edasiseks arenguks.

Süsteemaatiliselt on andmeid kogutud juba 18. sajandi teisest poolest, kui Austrias tehti seda ilmastiku ja loodusõnnetuste informatsiooni kogumise osana. 1784. aastal näiteks avaldati Saksamaal Elbe jõe ajaloolised andmed pärast 1784. aasta katastroofilist tulva, mille tõttu kasvas inimeste huvi varem kogutud info suhtes (Pötzsch 1784, *cit.* Brázdil *et al.* 2006). 20. sajandi teises pooles avaldati tulvade kohta andmeid ka Poolas, Tšehhis ja Ühendkuningriikides (Girgus & Strupczewski 1965, *cit.* Brázdil *et al.* 2006, Jones *et al.* 1984, Kotyza *et al.* 1995). Euroopa kontekstis on kõige tuntum Saksa meteoroloogi Curt Weikinni ajalooliste üleujutuste ja tulvade kogumik, mis koosneb kuuest teosest (Weikinn 1958–2002, *cit.* Brázdil *et al.* 2006). Kokku kirjeldatakse 23 160 üleujutust või tulva, mis valdavalt toimusid tänase Saksamaa või tema naaberriikide aladel.

Tšehhi, Saksamaa ja Šveitsi teadlaste koostöös uuriti aastatel 1500–2000 dokumenteeritud andmeid, mis jagati kaheks, lähtudes ühtsest metoodikast, kuidas juhtumeid kirjeldada ja mõõta. Aastad 1500–1800 klassifitseeriti kui mõõtejaamade eelse ning 1800–2000 mõõtejaamade aegse ajavahemikuna. Projektis analüüsiti suuremate tulvade sagedusi 500-

aastase perioodi jooksul, jagades juhtumid kolme klassi, lähtudes ajaloolistest kirjeldustest, rekonstrueeritud õhurõhu ja sademete andmetest. (Wanner *et al.* 2004, Brázdil *et al.* 2006)

Hüdroloogiliste andmete ajaloo uurimused on peamiselt suunatud kolme eesmärgi suunas (Brázdil *et al.* 2006 järgi):

- Ajalis-ruumilised rekonstruktsioonid varasematest äravoolu mustritest, sealhulgas ka ekstreemsetest hüdroloogilistest sündmustest.
- Ekstreemsete tulvadega kaasnev oht, mis võib kaasa tuua majanduslikku ja sotsiaalset kahju.
- Kuidas on ekstreemsed hüdroloogilised sündmused mõjutanud ühiskonda tulevikus

Laiemas pildis võib ajalooliste hüdroloogiliste andmete kogumise viisi jagada kaheks – mitteinstrumentaalsed ja instrumentaalsed. Mitteinstrumentaalsete andmed on need, mida ei ole otseselt mõõdetud. Antud kategooriasse kuuluvad ka juhtumid, mida tuletati looduslikest jälgedest, näiteks kunagiste üleujutuste seisuveed. Mitteinstrumentaalseteks loetakse ka meediakajastusi erinevatest tulvadest (Brázdil *et al.* 2006). Näiteks Baztani jõe 2014. aasta tulv (Hispaania), kus veetase kerkis mõne tunniga 3,5 meetrit või Huayñajahuira jõe (Boliivia) 2016. aasta veebruari tulv, mis ujutas üle La Pazi tänavad (Davies 2014, Masoero 2016). Üks hiljutisemaid töid, mis kasutab vanades ajalehtedes olevaid reportaaže kui peamist allikat, on Archer *et al.* (2019) Inglismaa ajalooliste tulvade uurimustöö. Mainitakse, et ajalehtedes kirjeldatakse tulvasid üsna detailselt, kuigi suuremat kajastust saavad need juhtumid, millega kaasnevad varalised kahjud või hukkunud.

Instrumentaalsed andmed on need, mida kogutakse süsteemselt erinevatest mõõtejaamadest, saades informatsiooni mitmesuguste hüdroloogiliste parameetrite kohta, näiteks veetase, vooluhulk või veetemperatuur. Instrumentaalseid andmeid on kogutud mõnedes paikades juba 18. sajandist, kuid ainult üleujutuste kohta, jättes välja muud olulist informatsiooni. Samas tuuakse välja, et mida ekstreemsem oli juhtum, seda detailsemalt kirja pandi. Sarnane tendents jätkus kuni 20. sajandi alguseni, mil asuti järjest süsteemsemalt andmeid koguma. (Brázdil *et al.* 2006)

20. sajandi uurimusi ühendab uute teooriate ja metoodikate kasutuselevõtt. Näiteks 1914. aastal rakendas Weston E. Fuller tulvade uurimisel tõenäosusprintsipi, eesmärgiga asendada varasemad empiirilised metoodikad ning luua objektiivsemad lähenemised tulvade uurimiseks (Barrows 1928, Merz, Blöschl 2008). Fuller jaotas tulvafaktorid kahte klassi. Esimesse kuulusid need, mis on omapärased kindlale jõe või valgalale, näiteks pindala, maastik ja pinnase

koostis. Teise klassi kuuluvad ajas muutuvad tegurid nagu sademete intensiivsus, temperatuur ja lumikate. Faktorite põhjal töötas Fuller välja maksimaalse vooluhulga teooria, mis 20. sajandi esimeses pooles võeti hästi vastu. Teooria ise seisneb selles, et mida suurem on tulva aegne vooluhulk, seda väiksema tõenäosusega tulv esineb. Samas tuleb lisada, et Fulleri teoorial puudub kõrghetke absoluutne maksimum, kuna lõpmatult pikka ajavahemikku vaadeldes võib toimuda lõpmatult suur üleujutus (Barrows 1928). 20. sajandi keskpaigaks võimaldas täienenud andmestik rakendada tulvade uurimisel lisaks teisi meetodeid ning arenesid olemasolevad. Üks näide on statistikast pärit, kui tulvade uurimiseks kasutati 1941. aastal loodud Gumbel ekstreemväärtuste teooriat. Eesmärgiks oli leida need juhtumid, mille väärtused olid kõrged ja mille esinemise tõenäosused jäid piisavalt väikesteks (Merz, Blöschl 2008).

1970ndatel ja 1980ndatel keskenduti ekstreemsete tulvade tõenäosuste analüüsimisele, kuna nende mõju keskkonnale ja majandusele on suur (Greis 1983, Kirby, Moss 1987, Bobee, Rasmussen 1995). Näiteks Eagleson (1972) uuris ajalist dünaamikat ning kuidas saaks taolisi sündmuseid ennustada, lähtudes piirkondlikust kliimast ning jõgede valgaladest. 1990ndate alguses nähti järjest rohkem andmete puuduse probleemi ning leiti, et uute meetodikate loomise asemel võiks olemasolevaid täiustada ja leida teisi andmeallikaid (Potter 1987, *cit.* Bobee, Rasmussen 1995). Leiti, et valgalade põhine regionaliseerimine on suund, mille suunas sajandi lõpus võiks liikuda üleujutuste ja tulvade uurimisega. Valgalade regionaliseerimise meetodika suhtes oldi skeptilised, kuna ei saa kasutada rangelt matemaatilisi lähenemisi. Probleemiks oli ka andmete puudus, kuna keskkonnavalad asutused pidid vähendama mõõtejaamade arvu, sest nende käigus hoidmiseks ei leitud piisavalt ressursi (Bobee, Rasmussen 1995). Eelmise sajandi lõpus ning käesoleva algul on välja pakutud uusi meetodikaid – L-moment, regressioonanalüüs üleujutuste ning valgalade vahel ja indeksimeetod. Regressioonanalüüs kogus enam populaarsust, kuna arenesid ka tehnoloogilised võimalused, mis oluliselt lihtsustasid valgalade karakteristikute arvutamist (Merz, Blöschl 2008). L-momente koos mitteparameetriliste meetodikatega kasutasid oma töös näiteks Adamovski (2000) ja Saf (2008). L-momendi suurimaks eeliseks võib pidada juhusliku valimi varieeruvuse väiksemat mõju tulemustele (Hosking 1990, Saf 2008).

21. sajand tõi tulvade uurimisse varasemate ja uuemate meetodite kombineerimise. Näiteks Borga *et al.* (2008) tõid oma artiklis välja kolm meetodilist kontseptsiooni, kuidas saaks tulvajuhtumeid paremini kaardistada, kui mitte ainult tugineda mõõtejaamadest saadud vooluhulkade näitudele:

- 1) Analüüsida sademete radaripilte, mis on seotud tulvajuhtumiga, eesmärgiga vähendada mõõtmisvigu, mida võib leida reaalaraja mõõtmistes. Tähtis on originaalandmete olemasolu ja kättesaadavus. Kasuks tulevad mõõtejaamade sademete hulgad ning intervjuud kohalikega, kes tunnistavad küsitavat ekstreemset juhtumit.
- 2) Tulvavete poolt jäetud jäljed pinnasesse on veel üks võimalus, kuidas tulva järgselt sündmust ruumiliselt kaardistada. Lähtudes jõgede võrgustikust, on oluline, et vaatlused ei püüaks kinni ainult tulvajuhtumi maksimumi, vaid ka väiksemaid mõõtmistulemusi, kuna valgalad reageerivad sajuhoogudele erinevalt. Kasuks tulevad pealtnägijate tunnistused ning pildi- ja videomaterjalid, mis tulvadest üles võetud.
- 3) Integreerida mõõtejaama andmeid hüdroloogilisse modelleerimisse. Antud metoodika on eelkõige kasutusel uurimustes, kus arvutatakse olemasolevate andmete põhjal võimalikke tuleviku stsenaariume.

Viimastel kümnenditel on kasutatud mitme meetodi kombinatsiooni (Hosking, Wallis 1993, Stedinger, Lu 1995, Smith *et al.* 2014), et paremini kirjeldada tulvasid ja üleujutusi vähe uuritud valgaladel või vaadeldav ala ei piirdu kindla piirkonna või riigiga. Ühe näitena saab tuua Kesk-Norras läbi viidud uurimuse, mille eesmärgiks oli parandada teadmisi 26 valgala üleujutuste ja tulvade kohta, kasutades selleks L-momenti ja hüdromeetriliste parameetrite (suurvee hooaeg, veerežiim ja äravool) sarnasuste metoodikaid. Sarnasuste metoodika seisneb selles, et kõigepealt leitakse oluliste hüdroloogiliste sündmuste kuupäevad, seejärel leitakse, kui mitmes valgalas sündmus toimus ja selle põhjal arvutatakse sündmuse esinemistõenäosus (Hailegeorgis, Alfredsen 2017). Samas regioonis rakendati ka valgalade homogeensuse meetodeid ehk lähimate naabervalgalade karakteristikute sarnasuste võrdlemist (Hailegeorgis *et al.* 2015).

Gaume ja Borga (2008) toovad välja, et üks võimalusi paremaks tulvade uurimiseks on juhtumijärgne metoodika, mis laias laastus jaguneb kaheks tüübiks:

- Esimest tüüpi teostavad enamasti kohalikud võimud või riikide valitsused. Peamiseks eesmärgiks on leida vastused avalikkuse või vara omanike poolt tekkinud küsimustele, mis puudutavad eelkõige kriisijuhtumit. Näiteks, kuidas inimtegevus mõjutab tulva ulatust ja sagedust, mismoodi valmistuda ning kuidas sellest taastuda.
- Teist tüüpi teostavad tehnilised institutsioonid, näiteks USGS (*US Geological Survey*). Nende eesmärgiks on dokumenteerida tulvajuhtumit kui loodusnähtust. Seda kirjeldatakse läbi andmete, mida kogutakse hüdromeetriaamades. Lisaks kogutakse

andmeid potentsiaalset maapinna või setete vees liikumise kohta. Viimase aja tehnoloogilised arengud on hakanud ka võimaldama paremini uurima tulva aegseid vooluhulga trende, ajalis-ruumilisi sademeid ning sademete-äravoolu dünaamikat.

Eelnevale kahele mainitule võiks välja tuua ka kolmanda tüübi – mudeleksperimendid, mis modelleerivad tulvasid väikesel alal, kuhu on ehitatud jõesäangi mudel ja kallastel asuvad tiheasustusalad. Üks näide on Testa *et al.* (2010) poolt läbi viidud Põhja-Itaalias asuvas Toce jõe simulatsioonist, kui tiheasustusalal tabab tulv. Mudeli tulemustest nähtus, et tugev veetaseme tõus tekib hetkest, kui suurenenud veevool jõuab hooneteni, mis takistavad jõevee edasist teekonda. Teisalt tuleb selle eksperimendi tulemuste juures arvestada sellega, et kogu mudel ehitati eeldusel, et valgala pinnas koosneb betoonist, mis on küllaltki vettpidav materjal. Eeskätt tuleb seda silmas pidada modelleeritud jõesäangi ja topograafia osas, mis looduslikult ei ole betoonist koosnev. Siiski on mudelid hea võimalus illustreerimaks võimalike tulvade kahjustusi linnastunud piirkondades. Samuti annavad mudelid lisaväärtust hüdrooloogiliste protsesside mõistmisele. (Testa *et al.* 2010)

1.3 Tulvade mõju ühiskonnale

Kuigi võimalused tulvade uurimiseks on ajas oluliselt paranenud, tekib olukordi, kus järske veetaseme tõuse ei märgata. Suur osa selles on juhtumitel, mis leiavad aset valgalades, kus puuduvad hüdromeetriaajaamad, mistõttu pole teada tulva ulatus ning võimsus. Paljudes riikides koguvad andmeid kohalikud võimud või erafirmad, mida on keeruline saada või talletatakse kohalikus keeles (Gaume *et al.* 2009). Tuleb mõista, kuidas hüdro-meteoroloogilised protsessid tulvasid põhjustavad, seda nii teaduslikust kui ka ühiskondlikust vaatenurgast, kuna parem teadmine nendest võib ära hoida suuri majanduslikke kahjusid ja inimohvreid (Borga *et al.* 2010).

Tulvade uurimine on tähtis ka inimasustuse ja majanduse seisukohast, kuna tulvasid peetakse ohtlikeks nähtusteks. Tulvadega kaasnevad tihti suured materiaalsed kahjud ja hukkunud ning neid peetakse üheks ohtlikemateks looduskatastroofideks (Gaume *et al.* 2009, Alipour *et al.* 2020). Lisaks annab tulvade uurimine võimaluse välja töötada mudeleid, mis suudavad saabuvat ohtu ennustada. Just viimased aastakümned on toonud kaasa suuri arenguid tulvade ennustamises, nende eest hoiatamises ja tuvastamises (Morss *et al.* 2015, Ahmadi, 2019). Sellest hoolimata tulvadest põhjustatud kahjud kasvavad seetõttu, kuna inimesed ei ole teadlikud saabuvast ohust või alahindavad riski (Morss, *et al.* 2015). Lisahoogu annab juurde fakt, et järjest rohkem inimesi elab linnades ning omatakse rohkem vara, mis tulvadega kahjustada saab.

Näiteks Vahemere regiooni uurimine ja tulvajuhtumite andmed on viimastel aastatel suurt huvi pakkunud, kuna sealsed sündmused nähakse ekstreemsetena ning toovad kaasa suuremaid purustusi asustatud aladel. Llasat *et al.* (2016) uuris Kataloonias tulvade ja konvektiivsete sademete seoseid, kasutades 43 jaama andmeid. Tarolli *et al.* (2012) kasutasid 99 juhtumi kohta olevaid jaamade andmeid Loode- ja Kagu-Vahemerel, eesmärgiga leida seoseid tulvatippude ja valgala pindalade vahel.

Lisaks tuleb mõista, kuidas inimesed reageerivad tulva eest hoiatavale informatsioonile. See omakorda annab võimaluse luua paremad kommunikatsiooni kanalid, et vajalikku teavet efektiivsemalt edasi toimetada (Morss *et al.* 2015). Inimeste teadlikkuse tõstmise ja ohtude hoiatussüsteemide koostöö võib osutuda eriti oluliseks õhtusel või öisel ajal. Samas väidetakse, et inimene tegutseb alles siis, kui ohtu reaalselt tajutakse ega võta eelnevat hoiatust tõsiselt (Dash, Gladwin 2007). Näiteks Špitalar *et al.* (2014) leidsid, et läbi öiste tulvade hukkab rohkem inimesi, kuna nähtavus on väiksem või tulv tabab inimesi une pealt.

Tulvavete oht ja potentsiaal on suurem aladel, kus maakasutus püsib intensiivne tänu tiheasustusele, taristutele ja tootmissüsteemidele. Ennustatakse, et tulvajuhtumid muutuvad sagedasemaks ja võimsamaks, eeskätt kliimamuutuste tõttu (Marchi *et al.* 2010). Eelpool välja toodud ennustust tuleks tõsiselt võtta, kuna aastatel 1989–2008 looduskatastroofide poolt põhjustatud kahjudest 40% tekkisid tulvade käigus. Näiteks leiti, et Vahemere regioonide tulvad on ohtlikumad tiheasustusaladele võrreldes Kesk-Euroopa omadega (Papagiannaki *et al.* 2015). Näiteks 1998. aasta maikuu leidis aset Sarno tulv (Lõuna-Itaalia), kus hukkus 147 inimest ning 1996. aasta Biescase tulva (Hispaania) käigus hukkus 87 inimest (Barredo 2006).

Tulvade mõjud ühiskonnale sõltuvad mitmetest teguritest – näiteks demograafiast, topograafiast, kohalike võimude tegutsemisest (Papagiannaki *et al.* 2015). Nimetatud teguritest tulenevalt on tähtis, et võimud valmistuksid võimalikeks tulvadeks, minimeerimaks kahjusid, mis kaasneda võivad. Papagiannaki *et al.* (2015) uurisid huvitava lähenemisega Ateena piirkonna 48 tulvajuhtumit aastatel 2005–2014, mis kahjustasid sealseid asustusi. Eesmärgiks oli tuvastada sademete hulk, mille korral võib eeldada, et Ateena piirkonda tabab tulv. Uurimuse omapära seisneb selles, et tulvade mõju mõõdeti tuletõrje väljakutsete arvuga. Leiti, et kui sademete intensiivsus 10 minuti jooksul on vähemalt 3 mm või ööpäevane sademete summa ületab 20 mm, siis tulv on ohtlik ja põhjustab kahjusid. Lisaks toodi välja, kui 10 minuti sademete intensiivsus on vähemalt 10 mm ja ööpäevane sademete summa üle 60 mm, siis väljakutsete arv kasvab oluliselt. Seega intensiivsemate sajuhoogude korral võib eeldada oluliselt suuremaid kahjusid põhjustavaid tulvasid.

Barredo (2006) kirjutab oma artiklis, et keskmine sademete hulk ning ekstreemsete sademete esinemissagedus on mõlemad tõusnud, kuid mainib ära ka fakti, et suuremad kahjud tekivad tänu jõgede äärsete tiheasustusalade kasvamisele. Seega tuleb mõista, et kui piirkonda, kus kulgeb jõgi, tabab tugev sajuhoog, siis võib see olla saabuva tulva hoiatuseks, eriti linnastunud alade puhul. Lisaks ka edasine uurimine, mis aitab parandada antud fenomeni mõistmist ning kuidas saaksid inimesed tulevikus paremini valmistuda.

1.4 Tulvad muutuvast kliimas

Arusaam hüdrometeoroloogistest protsessidest, mis kujundavad otseselt või kaudselt tulvasid, püsib tähtsana nii teaduslikus kui ka ühiskondlikkus perspektiivis. Ühelt poolt kasvab nende potentsiaal, kuna maakasutuse tulemusel on valgalas rohkem tehispinda. Teisalt aina kerkiv globaalne keskmine temperatuur kiirendab veeringet, mille tulemusel võib tulvajuhtumite arv ajast tõusta.

Kasvav temperatuur toob kaasa intensiivsema vee aurustumise, mis omakorda mõjutab sademete teket atmosfääris. Järjest enam mõõdetakse uusi hüdroloogilisi rekordeid maailma eri paikades. Sagedasemad ekstreemsed tulvad on andnud võimaluse uurida seoseid piirkondlike kliimamuutuste ja äravoolu trendide vahel (Alfieri *et al.* 2015). Mudelarvutused näitavad, et kui Maa keskmine temperatuur peaks järgmise 100 aasta jooksul kasvama 4 kraadi Celsiuse järgi, siis tulvadest põhjustatud üleujutuste riskipiirkonda jäävate inimeste arv on 2,5 korda suurem, võrreldes 2-kraadise tõusuga. Praeguseks on teada juhtumeid arenguriikides aset leidvatest üleujutustest, kus hukkunute arv ületab 1000. Materiaalse kahju poolest – 1998. aastal oli ligi 70% kogu Bangladeshist üle ujutatud ning 2002. aasta augustis aset leidnud Kesk-Euroopa üleujutused, mille kahjusid hinnati 20 miljardi euro juurde (Kundzewicz *et al.* 2010).

Alfieri *et al.* (2015) uurisid, kuidas muutub tulvade ja üleujutuste sagedus Euroopas, kui maailma keskmine temperatuur kerkib 21. sajandi lõpuks vähemalt 4°C. Antud uurimuses võeti aluseks 22 Euroopa jõgikonna valgalad, mille pindala ületab 50 000 km². Valimisse sattus ka Narva jõgikond. Normaalkliima ajavahemikuks valiti 1976–2005 ning edasised aastad kuni aastani 2095 modelleeriti 30-aastaste perioodidena (2006–2035, 2036–2065 ning 2066–2095), kasutades iga perioodi mediaanaastat kui baasjoont. Olulisemad järeldused olid:

- Oodata on sademete ja vooluhulga langust Lõuna-Euroopas, kuid vastupidist stsenaariumi Põhja-Euroopas.
- Oodata on normaalkliima perioodist väiksemaid maksimaalseid vooluhulki Skandinaavias, Balti riikides ja Hispaanias. Taolist muutust seletati hüdroloogiliste

protsesside muutustega, eelkõige aurustumise kasvu ja lumeperioodi kestuse lühenemisega.

- Peamise järeldusena tuuakse välja, et ennustatakse vähemalt kahekordset tulvajuhtumite arvu tõusu 21 Euroopa riigis vahemikul 2006–2035. Lisatakse juurde, et kaugemas tulevikus tõuseb riikide arv, kus tulvade esinemissagedus suureneb.

Seega eeldatakse, et temperatuuri kasv toob kaasa mitte ainult teistsuguseid hüdroloogilisi protsesse regioonides, vaid ka potentsiaalset mõju ühiskonnale ja majandusele läbi hüdroloogiliste protsesside muutuste. Eeltoodud järeldus, mis ennustab olulist tulvade arvu kasvu, puudutab ka Narva jõgikonda. Narva puhul ennustatakse aastateks 2006–2035 2,5-korda rohkem tulvasid võrreldes 1976–2005 vahemikuga (Alfieri *et al.* 2015).

Kõige suurem on kliimamuutuste ja tulvade probleem Aafrikas. Kuigi inimese kohta panustab Aafrika globaalsesse soojenemisse vähem kui arenenud piirkonnad, siis ekstreemsete sündmuste korral hukkub märksa rohkem inimesi. Linnu planeeritakse halvasti, kohati blokeeritakse jõe loomulik säng. Keerulisem on olukord troopilise kliimaga aladel, kus pidevad tormid toovad tulvasid kaasa oluliselt rohkem kui Euroopas. Kombineerides kliima aspekti kehvena arenguga, siis oht elule ja varale püsib kõrge, kuna ennustatakse intensiivsete sajuhoogude sagenemist (Douglas *et al.* 2008).

1.5 Tulvade uurimine Eestis

Eestis kasutatakse mõisteid „tulv” või „äkktulv” pigem harva ning jäädakse üleujutuse juurde, kuna hüdroloogilises kontekstis on tulvad erandlikumad juhtumid, kui seda näiteks Vahemere regioonis. Eesti keeles kasutatakse sõna „tulv” enamasti muudes valdkondades, peamiselt piltliku väljendina. Näiteks Alvre jt. (1987) kirjeldas laenuverbide tulva kui ohtu Uurali keelte arengule. Moora (1931) tõi välja Vana-Rooma kultuuri vormide ulatuslikku asendumist germaanide omaga kui tulva. Üsna palju kohtab sõna „tulv” erinevates Nõukogude aegsetes ajalehtedes nagu Sirp ja Vasar, Noorte hääl, Nõukogude Õpetaja ning Edasi, kus kasutatakse fraase nagu “tunnete tulv,” “õnnitluste tulv,” “viha tulv,” jne. Reinart Mälik (2017) kirjeldas oma töös, kuidas 20. sajandi alguses, kui Eesti Vabariik oli värskest iseseisvunud, saatsid Lümända elanikud maakonnavalitsusse suures koguses (tulvana) avaldusi, soovides saada oma maatükki.

Siiski leidub töid, mis annavad ülevaate tulvadest ja nende tagajärgede võimalikest stsenaariumitest. Viimastel aastatel on kliimamuutuste ja 2005. jaanuaritormi kontekstis kirjutatud talvetulvadest ehk järskudest veetaseme tõusudest külmal poolaastal, mida ei saa pidada kevadiseks suurveeks. Ülevaate talvetulvadest on kirjutanud Arvo Järvet (2015). Oma

töös mainib ta muuhulgas ka 1990ndate ja 2002. aasta tulvasid Kesk-Euroopa jõgedel (Rein, Oder, Doonau). Keskkonnagentuuri (2015) 2014. aasta hüdroloogilises aastaraamatus märgitakse ära jaanuari keskpaiga talvetulv. See oli tingitud sademete rohkest detsembrist ning avaldus paljudes jõgikondades (nt Kasari, Põltsamaa, Väike-Emajõgi), olles kõrgema veetasemega kui järgnenud kevadisel suurveel. Samas hüdroloogilises aastaraamatus (Keskkonnaagentuur 2015) tuuakse välja ka tavatult lühike kevadine suurvesi, mis kestis 12–24 päeva, kuid keskmiselt kestab suurvesi Eesti jõgedes 50–100 päeva. Võrreldes 2014. aasta kevadist suurvett ja üldist keskmist, siis võiks arvata, et 2014. aasta suurvett võiks pidada kevadiseks tulvaks, kuna oli ajas oluliselt lühem.

Eeltoodud hüdroloogiline aastaraamat on üks headest ülevaadetest, mida Keskkonnaagentuur (ning tema eelkäijad) on loonud, hakates 1991. aastast taasavaldama eestikeelseid hüdroloogilisi aastaraamatuid, varasemalt (1942–1990) anti teoseid välja venekeelsena. Aastaraamatud sisaldavad lühikokkuvõtteid viimase aasta jooksul toimunud, tuues välja märkimisväärsamad sündmused. Näiteks 1998. aasta suvel ning 2004. aasta augusti alguses, mil mitmete hüdromeetriaamade veetasemed olid kevadisest suurvee tasemest kõrgemad (EMHI 1999, EMHI 2005). Koos ülevaadetega on kaasas andmetabelid, mis annavad ülevaate näiteks jõgede veetasemetest ja vooluhulkadest. Alates 2018. aastast koostatakse hüdroloogilisi aastaraamatuid ArcGIS Online platvormi peale kaardilugudena.

Välja võib ka tuua Tanel Tamme (2015) töö, kus ta modelleeris paduvihmade tulvasid Pärnu linna aladel, kus sarnaselt välismaa autoritele toob välja, et kõige tundlikumad piirkonnad tulvade suhtes on tiheasustusalad, kuna vesi ei imbu pinnasesse ning seetõttu saab kahjustada kohalik taristu ja hoonestus. Tiheasustuse teemalise üleujutuste teemat uuris üle-eestiliselt Martin Gauk (2015), kus teemat käsitleti laiemalt, kaasates ka rannikumered lisaks siseveekogudele. Üleujutuste ja tulvade teema kirjutati eraldi peatükina raamatus „Eesti ilma riskid” (Tammets 2012).

Pärnu linna näitel tehtud teine töö, kus kirjeldatakse üleujutuste arvestamist linnaplaneerimises (Merirand 2019). Üks suuremaid probleeme, mida töös välja tuuakse, on see, et palju ehitatakse üleujutuspiirkondadesse ning puudub korralik sadevee ärajuhtimissüsteem. Pärnu puhul on üleujutuspiirkonnaks arvestatud ka peajõe kaldaäärseid alasid (Merirand 2019). See võib potentsiaalselt tekitada olukorra, kus väga tugeva paduvihma korral jõe veetase tõuseb sedavõrd kõrgele, et ujutab üle linnaalad ja hooned. Korralikule sademeveesüsteemivajadusele viitab ka Keskkonnaministeerium (2011) oma aruandes, kus tuuakse välja, et mere läheduses asuvates asulates võib tekkida probleem äärmuslike paduvihmade sageduse tõusu näol.

Arvo Järvet (2015) toob oma artiklis välja, et tulvad ja üleujutused on iseloomult sarnased ning kohati peetakse neid nähtuseid sünonüümideks. Samas tuuakse välja, et tulvade eristamine üleujutusest on viis, kuidas eristada järsku veetaseme tõusu ajal, mil suurvett ei esine. Antud artiklis toodi välja 2004. aasta, mis oli veerohke, eriti suvel ja sügisel, näiteks Kasari jaamas tekkis sademete tõttu kaks suvist tulva. 2004. aasta vihmased viimased kuud on ka üks põhjustest, miks 2005. aasta jaanuaritormi ajal tekkis mitmes Eesti jões talvetulv. Talvetulva tekkele andsid hoogu juurde veel soe tsüklon, mis tõi kaasa vihmajärgi ja sulatust. Nii hakkas jõgedes veetaseme kiiresti kerkima. Nelja jaama äravoolumoodul tipu ajal oli $90 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ (Kasari $116,6 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$) ning Öhne jõgi ujutas üle Tõrva Gümnaasiumi staadioni. Kliimamuutuste suund pigem eeldab, et lumesulast ja vihmast tekkivad tulvad jäävad madalamaks. Siiski võivad Eestisse saabuda ägedad läänetsüklonid, mille intensiivsed sademed soodustavad tulvade teket.

Paduvihmadest tulvade tekkimine, ulatus ja mõju on päevakajaline teema ka Eestis. Kõige suuremad riskid tugevate paduvihmade puhul seostuvad eelkõige tiheasustusaladega, mitte loodusmaastikuga. Kuna Eesti maastik on valdavalt tasane, siis võimsamate tulvade tekkimine looduslikest tingimustest lähtuvalt, kus vee kiire äravool nõlvadelt järsud üleujutused tooks, on harv nähtus. Mistõttu varasemad Eestis tehtud uuringud keskendusid tiheasustusalade uurimisele. Linnades ja alevikes, kus paratamatult pinnas on veekindlam, tuleb asustuse planeerimisel arvestada ka veeäravoolu kanalitega, mis leevendaks võimalikku üleujutust tehiskeskkonnas (Tamm 2015).

Näiteks 2003. aasta augusti alguse juhtum Ida-Viru maakonnas (Jõhvi, Kohtla-Järve, Kiviõli), kus tugevate paduvihmade tagajärjel tekkisid tulvad ja kaasnesid kahjud ning Purtse jõe veetaseme tõusis mõne päevaga üle kahe meetri (Tammets 2012, Tamm 2015). Teetammid kaevati liigvee merre juhtimiseks läbi ja Valaste joal langes vesi 26 meetri asemel üle 30 meetri. Kaudseid kahjusid oli ligikaudu 11,7 miljoni krooni jagu ehk umbes 750 000 eurot. Seitse kuud hiljem toimunud presidendi akadeemilises nõukõigus andis toonane Ida-Viru asemaavanem Ago Värimäe ülevaatest selgus, et tagajärgede likvideerimisele kulus 130 000 eurot, kuid kahjude suurusjärguks hinnati 3–4 miljonit eurot (50–60 miljonit krooni). Toodi välja, et senised kanalisatsioonisüsteemid olid ummistunud ning sademeveesüsteeme polnud välja ehitatud. Ida-Viru juhtumi põhjal otsustasid paljud omavalitsused senised liigvee süsteemid üle vaadata ning koostati tegevuskavasid (Sepp 2006).

Vihmasajud ei ole Eestis ainsad tulvade põhjustajad. Nii on Keskkonnaministeeriumi poolt tellitud “Juhise ning tegevuskava koostamine üleujutusriskide haldamiseks” nimelises juhendis võimaliku tulva allikana välja toonud ka paisude purunemise võimalus. Näidetena tuuakse välja

Põlva, Alatskivi ja Rahinge paisude avariid. Eelpool mainitud juhendis toodi välja ka 2004. aasta suurte üleujutusalaadega siseveekogude nimistu, kus 16st siseveekogust 14 on jõed (Mugra, Sults, 2006).

Mainitud nimistu on tänaseks aegunud ning saanud ka kriitikat, kuna selles nimistus esineb olulisi puuduseid. Eeskätt polnud nimekirjas ühtegi suuremat Harjumaa jõge (Jägala, Keila, Pirita jne), kus asuvad ka suuremad paisud – Linnamäe, Soodla ja Vaskjala (Mugra, Sults 2006).

Seetõttu täiendas Keskkonnaministeerium üleujutusriskide hinnangut kahel korral (2011, 2018). 2018. aasta väljaandes eristatakse 12 liiki üleujutusi, millest kaks (äkk tulv ja sujuv üleujutus) on otseselt seotud jõgedega. Samuti eristatakse neid esinemise tõenäosuse järgi, sõltumata liigist:

- Väikese tõenäosusega üleujutus – esineb korra enam kui 1000 aasta jooksul
- Keskmise tõenäosusega üleujutus – esineb korra 100 aasta jooksul
- Suure tõenäosusega üleujutus – esineb vähemalt üks kord 50 aasta jooksul
- Väga suure tõenäosusega üleujutus – esineb vähemalt korra vähem kui 10 aasta jooksul

Ajakohastatud aruandes märgiti 17 riskipiirkonda ehk kolme võrra vähem võrreldes 2011. aasta versiooniga (välja arvasi Järvakandi, Ilmatsalu ja Kohtla-Järve), kuid elanike arv riskipiirkondades on umbes 41 000 (Keskkonnaministeerium 2011, Keskkonnaministeerium 2018). Märkusena tuleb juurde lisada, et vastav õigusakt pole tänaseni veel uuenenud (RTL 2004, 72, 1192).

Samas aruandes tuuakse välja 2005. aasta jaanuaritormi ulatuslikud üleujutused, kusjuures märgitakse ära, et Eestis pole keegi üleujutuse tagajärjel hukkunud. Meedias levib teine arvamus, kuna Pärnus kukkus 93-aastane vanaproua kodutrepilt vette ning uppus selle tagajärjel (Vainküla 2006). Ilmselt nähti olukorda erinevalt, ent tuleb siiski aru saada, et üleujutusel oli oluline osa traagilise õnnetuse juures.

Võib öelda, et tulvasid on uuritud aastasadu, kasutades selleks erinevaid meetodikaid, lähtudes ajaloolistest kirjeldustest, uutest või täiendatud vanematest teooriatest ja valemitest ning selle sajandi alguses pöörati rohkem tähelepanu olemasolevate meetodite kombineerimisele ja modelleerimisele seoses tehnoloogia arenguga. Lisaks on tulvade uurimine oluline tiheasustuse kohalt, kuna paljud inimesed elavad jõgede vahetus läheduses, mistõttu püsib riski ennetamine tähtsal kohal. Kuigi Eestis väga palju uurimusi tulvadest ei ole tehtud, siis võimalik oht eksisteerib.

2. ANDMED JA METOODIKA

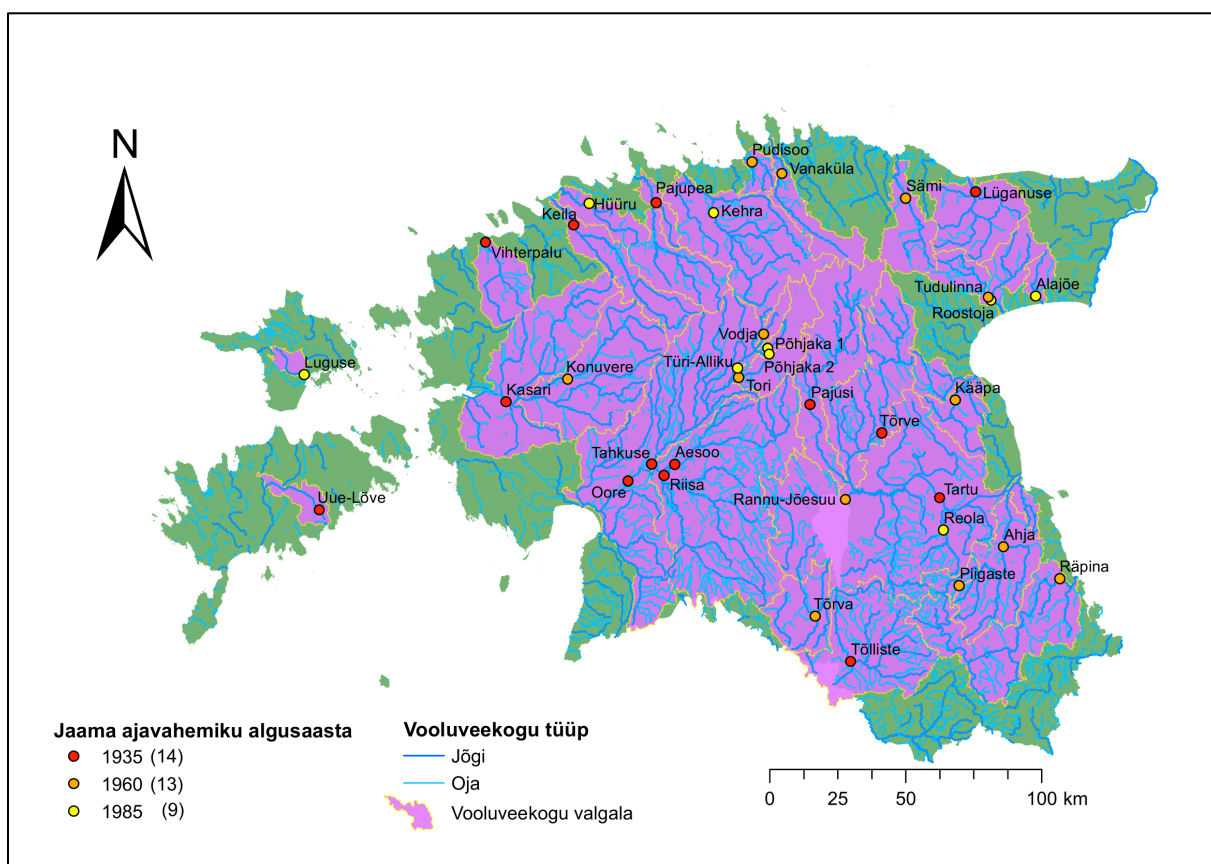
Käesoleva magistritöö puhul kasutatakse *case-study* (juhtumi) põhist lähenemist, mille korral antakse ülevaade igast juhtumist või uuritavast piirkonnast üsna detailselt või ülevaatlikult, lähtudes töö eesmärgist ning vajadustest. Tulvade kohta võib leida mitmeid *case-study* põhiseid töid, näiteks Pelling (1997) analüüsis Guyana pealinna Georgetowni juhtumeid, eesmärgiga anda ülevaade sealsetest tingimustest ja ohtudest tulvade suhtes. Reisenbühler *et al.* (2019) tegi töö, kus Saksamaal asuva Saalachi jõe näitel üritati leida korrelatsiooni jõe morfoloogia ja tulvade vahel. Juhtumipõhist lähenemist käesolevas töös seetõttu, kuna see võimaldab sügavuti minna konkreetsete juhtumite sisse, analüüsida seda detailselt ning anda konkreetne ülevaade olukorrast, kuid samal ajal jäädes ka üldisema probleemi püstituse juurde (Hoaglin *et al.* 1982, Connole, *et al.* 1993). Antud uurimustöö puhul kasutatakse Eesti olulisemate tulvade leidmisel ja kirjeldamisel nelja andmebaasi, lähtudes samaaegsusest, tsüklonaalsest aktiivsusest Eesti piirkonnas ning tulvade kulgemisest ajas. Samaaeguse element pärineb Hailegeorgis, Alfredsen (2017) tööst, kus kasutati sarnasuste metoodikat.

Töös kasutati järgmised andmeid:

- 36 hüdrometriaajaama suvekuude (juuni – august) ööpäevased keskmised vooluhulgad ajavahemikul 1935–2015 (Keskkonnaagentuur 2019a).
- Riigi Ilmateenistuse 94 ajaloolise ning käigus oleva mõõtejaama suvekuude ööpäevased sademete summad ajavahemikul 1935–2015 (Keskkonnaagentuur 2019b)
- Wetterzentrale (Saksamaa ilmaportaal) 6-tunnise sammuga ilmakaardid ajavahemikul 1935–1947 (Wetterzentrale).
- Tsüklonite trajektooride andmebaas ajavahemikul 1948–2012 (Tilinina *et al.* 2013).

Vooluhulkade ja sademete andmete puhul on oluline, et vaadeldaval ajavahemikul kohta leiduks piisaval määral mõõtmistulemusi, eelkõige selleks, et saaks teha usaldusväärsemaid järeldusi. Lisaks võimaldab see vältida liiga suurt mõju ekstreemsemate mõõtmistulemuste poolt, sest mida rohkem mõõtmisi, seda väiksem on ühe mõõtmise mõju kogu valimile. Sellest lähtudes valiti edasise analüüsi tarbeks välja need hüdrometriaajaamad, mille kohta on vähemalt 30 aasta jagu andmeid. Narva jõgi jääb käesolevas töös välja, kuna Peipsi järv ja Soome laht on Narva jõe tulvadele tasandava mõjuga (Tammets, 2012). Eelkõige kehtib see Vasknarva ja Narva-Jõesuu jaamade koht, mis vastavalt asuvad Peipsi järve ja Soome lahe läheduses.

Kuigi Suur-Emajõgi saab alguse Võrtsjärvest, on Emajõel tulvad olemas ning seega kaastakse sealsed vaatlusjaamad töösse. Selliseid mõõtepunkte, mis vastasid eespool kirjeldatud tingimusele, on kokku 36 (joonis 1). Tabelis 1 tuuakse välja hüdromeetriaamade asukohad vooluveekogu täpsusega koos valgala pindalade ja suvekuude äravoolumooduli standardhälbed ning keskmised. Väga tähtis on andmete maksimaalne kasutamine analüüsis. Ideaalis on mõõtmiste algusaasta jaamades sama või vähemalt mõne aastase erinevusega, aga seda ei saa öelda analüüsiks välja valitud jaamade kohta. Suurematel valgaaladel (Pärnu, Kasari, Emajõgi) olevate hüdromeetriaamade mõõtmiste aegread algavad 1920ndatel, kuid valimisse sattus jaamu, mille aegread algavad 1970ndate teises pooles või 1980ndate alguses.



Joonis 1. Hüdromeetriaamad ja analüüsitava jõe valgala, mille andmeid kasutati suviste tulvajuhtumite tuvastamiseks. Sulgudes on välja toodud jaamade arv. Allikad: Keskkonnaagentuur, EELISE avalik WMS/WFS teenus, Maa-amet.

Tulenevalt jaamade vaatlusperioodide erinevusest jagati 36 hüdromeetriaama kolme ajalise gruppi, mis võimaldaks analüüsis ära kasutada võimalikult palju andmeid. Kolm moodustatud ajavahemikku on 1935–2015, 1960–2015 ja 1985–2015. Nendes gruppides on vastavalt 14, 13 ja 9 hüdromeetriaama (joonis 1). Eeltoodud ajavahemikud moodustati andmete olemasolu põhjal, lähtudes hüdromeetriaama mõõtmiste algusaastast.

Tabel 1. Töös kasutatud hüdromeetrijaamade üldandmed.

Hüdromeetria- jaam	Jõgi	Vaadeldav ajavahemik	Jaama valgala (km²)	Suvekuude äravoolu- mooduli keskmine	Suvekuude äravoolu- mooduli σ
Aesoo	Navesti	1935–2015	1030	3,67	4,18
Kasari	Kasari	1935–2015	2640	3,11	4,8
Keila	Keila	1935–2015	635	4,14	5,17
Lüganuse	Purtse	1935–2015	784	4,18	6,36
Oore	Pärnu	1935–2015	5160	4,03	4,44
Pajupea	Leivajõgi	1935–2015	83,5	3,78	6,12
Pajusi	Põltsamaa	1935–2015	1030	6,23	3,46
Riisa	Halliste	1935–2015	1880	3,78	4,37
Tahkuse	Pärnu	1935–2015	2080	4,36	4,77
Tartu	Emajõgi	1935–2015	7840	6,19	2,16
Tõlliste	Väike-Emajõgi	1935–2015	1050	4,28	5,02
Tõrve	Pedja	1935–2015	776	3,67	4,45
Uue-Lõve	Lõve	1935–2015	134	3,09	2,25
Vihterpalu	Vihterpalu	1935–2015	474	2,87	5,6
Ahja	Ahja	1960–2015	896	5,4	3,24
Kääpa	Kääpa	1960–2015	266	3,4	4,38
Pudisoo	Pudisoo	1960–2015	123	4,32	5,45
Rannu-Jõesuu	Emajõgi	1961–2015	3370	9,11	2,38
Piigaste	Piigaste oja	1960–2015	11,5	5,43	8,3
Räpina	Võhandu	1960–2015	1130	4,79	3,12
Sämi	Kunda	1960–2015	406	7,58	4,18
Tori	Prandi	1960–2015	279	4,65	4,17
Tudulinna	Tagajõgi	1960–2015	252	2,82	7,26
Tõrva	Õhne	1960–2015	269	5,36	5,16
Vanaküla	Valgejõgi	1960–2015	404	5,3	3,61
Vodja	Vodja	1964–2015	52	4,86	3,54
Konuverre	Vigala	1960–2015	618	3,57	3,82
Alajõe	Alajõgi	1985–2015	140	6,02	6,62
Hüüru	Vääna	1985–2015	209	4,31	5,68
Kehra	Jägala	1985–2015	903	4,07	3,97

Tabel 1 (järg).

Hüdromeetria- jaam	Jõgi	Vaadeldav ajavahemik	Jaama valgala (km ²)	Suvekuude äravoolu- mooduli keskmine	Suvekuude äravoolu- mooduli σ
Luguse	Luguse oja	1985–2015	97,6	1,97	3,67
Põhjaka 1	Esna	1985–2015	215	2,5	1,83
Põhjaka 2	Särevere peakraav	1985–2015	7,25	12,31	7,75
Reola	Porijõgi	1986–2015	241	4,21	5,18
Roostoja	Rannapungerja	1985–2015	313	6,14	6,26
Türi-Alliku	Pärnu	1985–2015	579	5,38	3,08

Lisaks sellele on jõgikonnad erineva pindalaga, mistõttu neid võrrelda vooluhulkade alusel annab vale signaali sellest, kuidas tulv kulges. Seepärast erineva suurusega valgalade omavaheliseks võrdluseks on otstarbekam kasutada äravoolumoodulit, mille valem on:

$$(1) q = (Q/F) * 1000$$

kus q – äravoolumoodul, Q – jõe vooluhulk (m³/s) ja F – valgala pindala (km²). Äravoolumooduli ühikuks on l/(s*km²). Äravoolumoodul annab mõõtejaamade lõikes kõige võrreldavama ülevaate, kuna tegemist on suhtarvuga valgala pindalasse. Ööpäeva keskmiste äravoolumoodulite arvutamine oli ka esimeseks tegevuseks andmete analüüsimisel.

Seejärel leiti ööpäeva keskmise äravoolumooduli muutus võrdluses eelmise ööpäevaga. Need arvutused on käesoleva töö raames ühed kõige olulisemad, sest äravoolumoodulite muutuste abil leiti need ajavahemikud, kus ööpäeva keskmine äravoolumooduli väärtus tõusis väga järsku – olukord, mida käesolevas töös vaadeldi kui tulva. Teine oluline näitaja on äravoolumooduli standardhälve, mis arvutati jaama andmete põhjal. Standardhälve võeti selleks mõõteks, mille alusel otsustatakse, kas muutus oli piisavalt järsk, et käsitleda vaadeldavat juhtumit tulvana.

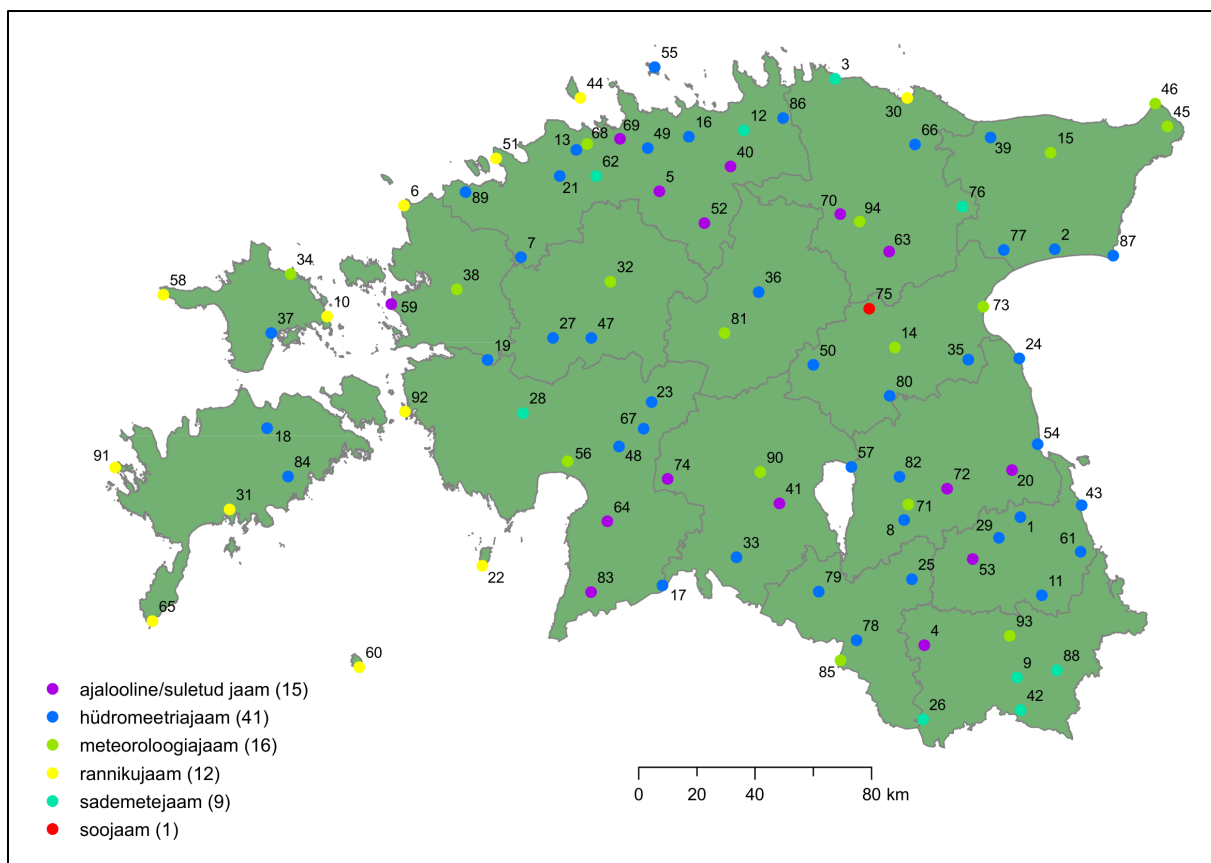
Selleks, et tuvastada ööpäeva keskmise äravoolumooduli ja standardhälve abil need kuupäevad, kus võis esineda tulv hüdromeetriaajaama mõõtmiste järgi, kasutati selleks järgmist valemit:

$$(2) q_b - q_a = q_{muut} > q_{\sigma}$$

kus q_a on eelneva ööpäeva keskmine äravoolumoodul, q_b vaadeldava ööpäeva keskmine äravoolumoodul, q_{muut} äravoolumooduli muutus ja q_σ ajavahemiku suvekuude äravoolumooduli standardhälve. Eeltoodud valemiga (2) tuvastati need ööpäevased muutused, mis ületasid vaadeldava ajavahemiku äravoolumooduli standardhälvet. Selliselt välja sorteeritud üksikjuhtumeid vaadeldakse käesoleva töö kontekstis kui potentsiaalseid tulvasid ja uuritakse järgnevalt lähemalt.

Üksik tulv ühel jõel võib olla juhuslik sündmus või halvimal juhul viga vaatlusreas. Seetõttu sai lähemalt uuritud tulvi, mis ilmnesid korraga mitmes vaadeldavas jões, kus oli täidetud $q_{muut} > q_\sigma$ tingimus. Eesmärgiks on keskenduda juhtumitele, mis leidsid aset mitmes hüdromeetriaajas ning erinevates valgalades, siis tuli teha täiendavat aegridade vaatluseid.

Kui kõik kuupäevad hüdromeetriaajamades, kus $q_{muut} > q_\sigma$ tingimust täideti, üles leiti, siis analüüsiti, kui mitmes hüdromeetriaajas võis esineda tulvajuhtum sama kuupäeva või juhtumi perioodi jooksul ehk leiti nende ajaline ühisosa. Käesolevas töös vaadeldakse juhtumi perioodi kui aega, mis algab hetkest, mil paljudes jaamades oli näha esimest olulist (ehk $q_{muut} > q_\sigma$ on täidetud) äravoolu tõusu ning lõppeb siis, kui äravool enamus juhtumiga seotud jaamades selgelt langes või lähenes tulvaeelsele tasemele. Nii saadi teada tulvajuhtumite võimalik ulatus, kas tegemist oli kindla regiooni juhtumiga (näiteks Kirde-Eesti) või äravoolud tõusid järsku üle Eesti erinevates jaamades. Mida suuremas jaamade arvus on samaaegselt tulv, seda olulisem see on. Kui vähemalt ühes hüdromeetriaajamade grupis on üle poolte sellised mõõtmispunktid, kus äravoolude järskude tõusude kuupäevad kattuvad, siis arvati juhtum oluliseks tulvajuhtumiks.



Joonis 2. Töös kasutatud mõõtejaamad, mille sademeid analüüsiti. Jaamade nimed on välja toodud lisa 1. Allikad: Keskkonnaagentuur, Maa-amet.

Järgmise etapina sai uuritud, kuidas on omavahel seotud sademed ja tulvad, kasutades selleks tulvajuhtumide aegseid sademete andmeid. Töös kasutati Ilmateenistuse ööpäevaseid sademete summade andmeid ajavahemikul 1935–2015, mis hõlmavad tänaseks juba suletud (ajaloolisi) ning käigus olevaid mõõtejaamu. Sarnaselt hüdrometeorijaamadele, valiti edasiseks analüüsiks välja need mõõtejaamad, kus ööpäevaseid sademete summade andmeid on vähemalt 30 aasta jagu. Siinkohal ei omanud tähtsust, kas andmed on järjestikku või andmeaukude poolt osadeks jagatud. Eelpool kirjeldatud tingimusele vastas 94 mõõtejaama (joonis 2, lisa 1), mille andmeid edasi analüüsiti ning suviste tulvajuhtumitega kokku viidi.

Sademete andmete puhul peab meeles pidama, et alati ei pruugi suvise tulvajuhtumi põhjuseks olla väga võimas sajuhoog, vaid sadu võib kesta pikemaajaliselt. Saamaks aru, kui tugevad ning millise ajalise kestusega (ööpäevades) tulva põhjustanud sajuhood olid, otsiti välja tulvajuhtumite perioodile eelnenud ööpäevade sademete summad.

Tähtis on see, et meid huvitab küsimus, kas need tulva tekitavad vihmasajud saab seostada mõne konkreetse tsükloniga ja millised on nende omadused. Kust need tulevad, kui lähedalt

kese Eestist möödub, on need tsüklonid keskmisest tugevamad. Selleks, et nendele küsimustele vastused saada, analüüsiti vahemikul 1935–1947 Wetterzentrale digiarhiivides olevaid ilmapilte (õhurõhuväljade joonised). Wetterzentrale ilmapiltide puhul on tegemist ajalooliste andmete rekonstruktsiooniga, mis baseeruvad CERA-20C andmebaasidele, mis koosnevad 24-tunnistest ennustustsüklitest, algusega kl 18 UTC (Wetterzentrale). Tehnilise ülevaate Wetterzentrale ilmapiltidest saab Laloyaux *et al.* (2018) tööst, kus kirjeldatakse CERA süsteemi (loodud Euroopa Keskpika Ilmaennustuse Keskuses) ning milliseid meetodikaid kasutati.

Kui tugevad sajuhood saabusid Eestisse ühe tsükloni tulemusel, siis valiti välja kaks pilti – tsükloni tekkepiirkonnast, mis on tähistatud joonistel tähega A ja kui tsükloni kese oli Eestile kõige lähemal või kohal (joonistel tähistatud tähega B). Kui selgus, et paduvihmasid põhjustavad mitu tsüklonit, siis paremaks ülevaateks valiti neli ilmapilti. Kolmandad ja neljandad pildid on joonistel tähistatud vastavalt C-ga (tsükloni tekkepiirkond) ja D-ga (kese Eesti kohal või lähedal). Ilmapilte kasutati vastava juhtumi kirjelduse juures, näitamaks, millised tsüklonid töid sajuhooge ning seeläbi tulvasid.

1948–2012 puhul oli aluseks tsüklonite keskmete trajektooride koordinaatide andmebaas (Tilinina *et al.*, 2013). Säärane aastate jaotumine on tingitud asjaolust, et koordinaatide andmebaasi aegrida algab 1948. aastast, mistõttu varasemate aastate tsüklonite leidmisel tuli kasutada alternatiivseid allikaid. Sarnaselt Wetterzentrale digiarhiividele, on ka keskmete koordinaatide andmestik 6-tunnise sammuga. Andmetes olid olulised neli komponenti – aeg, õhurõhk hektopaskalites, madalrõhu keskme X- ja Y-koordinaadid kraadides. Selleks, et leida tulvajuhtumite aegseid tsükloneid, valiti välja need, mis liikusid mõned päevad enne või tulva ajal Eesti piirkonnas (Läänemeri, Skandivaania, Ida-Euroopa). Veendumaks, et tegemist on otsitavate tsüklonitega, vaadati, millal ning kus asus tsükloni kese, kui Eestit tabasid tugevad sajuhood.

Hiljem tehti vajalik töötlus selleks, et andmeid oleks võimalik punktidenähtena kasutada ArcGIS Desktop'is, mille abil ühendati tsüklonite keskmete asukohad ligikaudseteks trajektoorideks, lisades juurde täiendavat infot. Lisaks sai ülevaate sellest, kuidas kese Eesti suhtes liikus. Esiteks märgiti ära ajaliselt esimene punkt, kus kese oli, lisades juurde kuupäeva, millal tsüklon ligikaudu tekkis. Nii sai kindlaks määrata, millisest suunast kese Eesti suunas liikuma hakkas. Teiseks leiti madalaima õhurõhuga punkt, andes nii ülevaate sellest, kui lähedal oli see Eestile. Seejärel koostati joonised, kus näidati ära trajektooride alguspunktid, liikumissuunad ja madalaima õhurõhuga punktid. Vältimaks liiga kirjusid jooniseid, jagati trajektooride andmed ära mitme joonise vahel lähtudes tsükloni üldisest liikumissuunast ja ajast, lähtudes võimalikult

palju sagedamaste tulvade aastakutest. Joonised lisati tulemuste peatükis vastavate ajavahemike juurde, et tulvajuhtumid ja trajektooride kujutised ei oleks teineteisest liiga kaugel.

Viimase sammuna anti tsüklonitele koodid, et neid oleks lihtsam eristada. Sama süsteemi kasutati mõlema eeltoodud allika kohta, säilitamaks ühtset liini. Kood koosneb kolmest osast:

- aastast, mil tulvajuhtum aset leidis;
- tähest A või B, mis määrati selle järgi, mitmes tulv aastas oli;
- alakriipsust ja numbrist 1, 2 või 3, mis tähistas tsükloni kronoloogilist järjekorranumbrit, mida sai seostada konkreetse juhtumiga.

2.1 Andmete kvaliteet

Töös kasutatud 36 hüdromeetriajaama ööpäevaste keskmiste vooluhulkade andmestik on ajalises kontekstis küllaltki kvaliteetne. Ainult Konuvere jaamas on suurem ajaline auk (1999–2007), mistõttu 2004. aasta juhtumi kohta andmed puuduvad, kuid ei saa öelda, et antud puudujääk oleks tulemuste kontekstis oluline. Lisaks tuleb välja tuua kaks erandit grupeerimisel – Rannu-Jõesuu ja Vodja. Esimesena mainitud jaama puhul algab aegrida 1961. aastast. Seega tekib aastane andmeauk, kuna kuulub jaamade gruppi, kus aegrida algab 1960. aastast. Tulemuste kontekstis see suurt mõju ei oma, kuna 1960.aastal juhtumeid ei leitud. Olulisem on Vodja jaama 4-aastane andmeauk, kus jaam avati 1964. aastal, ent erandkorras pandi 1960. aasta jaamade gruppi. Selle erandi tekitamise tulemusel ei kajastu Vodja jaamas ka kolme juhtumi aegsed (1961–1962) andmed, seda puudujääki ei korva ka kaks lähedal asuvat jaama (Põhjaka I ja II), mille aegread algavad hiljem. Antud kolme juhtumi puhul leiab ruumiliselt kõige lähemad andmed Tori hüdromeetriajaamast, mis jääb umbes 20 km edela suunas.

Ruumiliselt on üks suurem puudujääk – Haanja kõrgustiku ümbrus. Antud juhul võib välja tuua kaks põhjust – vähe jaamu ja lühikesed aegread andmetes. Võru (Haanja) piirkonnas on tänase seisuga neli hüdromeetriajaama, millest üks (Roosisaare) asub Tamula järvel. Kaks jaama – Taheva ja Kirumpää, avati vastavalt 2006 ja 2010, seega nende aegread jäävad käesoleva töö jaoks liiga lühikeseks. Korela jaama avati küll 1961. aastal, kuid aastate 1966–2007 kohta puuduvad andmed ning nii suure ajalise augu tõttu polnud võimalik Korela andmeid töös kasutada. Haanja aladel võinuks saada huvitavaid tulemusi, eelkõige 1987. aasta augusti puhul, kui Kagu-Eestis kahe ööpäevaga (7.08–8.08) sadas 139–158 mm vihma (Tammets 2012). Välja võib tuua ka saartel asuvate jaamade vähese arvu, ent seal pole suuremate valgaladega jõestikke. Luguse oja (Hiiumaa) hüdromeetriajaama valgala pindala on 97,6 km², Uue-Lõve

(Saaremaa) oma aga 134 km². Luguse oja puhul saab välja tuua ka fakti, et tegemist on Hiiumaa suurima vooluveekoguga (Järvekülg jt. 2012:29).

Eesti sademete andmebaas on põhjalik, pika ajalooga ja paljude jaamadega, mis katavad ära praktiliselt kogu riigi. Samas paljudes jaamades leiab erinevatel põhjustel suuri andmeauke, kas siis jaam polnud töökorras, ei kasutatud aktiivselt või suleti, kuid tavaliselt ühe jaama andmete puudumisel oli lähedal asuva teise jaama andmete pealt võimalik aru saada, milline võis olla sademete hulk piirkonnas. See oli oluline tulvajuhtumite tuvastamisel, mil Eesti alasid tabasid tugevad sajuhood ning tulvade aegsete sademete andmeid on piisavalt, et luua seos konkreetse juhtumiga.

3. TULEMUSED

Hüdromeetriaajaamades mõõdetud vooluhulgad kajastavad ainult seda osa jõgikonna valgalas, mis jääb mõõtepunktist ülesvoolu ehk siis tulemused ei kajasta seda osa, mis hüdromeetriaajaama valgalast välja jääb. Heaks näiteks on Tõlliste hüdromeetriaajaam, mis asub Väike-Emajõe keskjooksul, jäädes suudmest 35,6 km kaugusele. Kuigi Tõlliste jaama valgala katab ära 76% Väike-Emajõe valgalast, siis kaugus suudmest võib tekitada olukorra, kus tulv tabab allpool jaama lävendit. Seetõttu ei pruugi tulv ise välja tulla, kui kohapealsed tunnistavad puuduvad.

Käesoleva töö eesmärk on uurida suviseid tulvajuhtumeid, mis leidsid aset üheaegselt mitmel Eesti jõel. Nii keskendutakse suurema pildi välja toomisele, jättes seejuures välja need juhtumid, mis jäid mõõtmisandmete järgi piirkondlikuks juhtumiks.

Ajavahemikul 1935–2015 oli kokku 67 sellist tulva, mis toimusid vähemalt kahes jaamas, neist 23 vastasid käesoleva töö kontekstis suvise tulvajuhtumi kriteeriumitele, mille ajalised kestused olid 4–11 ööpäeva (tabel 2). Eestis on suvised tulvad oluliselt pikemad kui näiteks Lõuna-Euroopas, kus tulv kestab enamasti alla ööpäeva, kuid leitud juhtumite puhul on ka meil tulvadele omased iseloomujooned esindatud: kiire veetaseme tõus ja mõnevõrra aeglasem langus. Tulvajuhtumite puhul saab välja tuua üldisema ülevaate sellest, kuidas tulvad jagunesid kuude või aastate lõikes:

- Eristus kolm selgelt perioodi, kus tulvajuhtumeid esines oluliselt sagedamini, kui ülejäänud ajavahemikel. 1942–1949 esines kokku seitse tulvajuhtumit, 1978–1987 ning 1998–2009 esines kuus tulvajuhtumit, seega kokku 19 tulvajuhtumit 23st;
- Leiti kolm sellist perioodi, mil kahe tulvajuhtumi vahele jäi vähemalt 10 aastat. Märkuseks, et välja toodud ajavahemike piiriaastatel tuvastati suvine tulvajuhtum. (tabel 3);
- 23st leitud suvisest tulvajuhtumist 12 jäid augustisse (tabel 4);
- Kogu ajavahemiku peale oli kokku 15 aastat, mil esines vähemalt üks suvine tulvajuhtum. Selliseid aastaid, mil oli kaks juhtumit, oli kokku kaheksa (tabel 3);
- Kõige enam tuvastati juhtumeid Pärnu jõgikonna hüdromeetriaajaamades, Aesoos ja Tahkusel, mõlemas jaamas leiti 19 juhtumit. Rannu-Jõesuu jaamas ei leitud ühtegi tulvajuhtumit (joonis 3).

Tabelis 2 esitatud tulvajuhtumite ajalise kestuse andmed annavad selge vihje selle kohta, et Eesti tingimustes võiks liigitada tulvaks sellist juhtu, mille ajaline kestus ei ületaks nädalat. Selle töö tulemuste hulka arvati üheksa suvist juhtumit, mis kestsid enam kui nädala, aga see annab võimaluse paremini analüüsida ajaliselt pikemate juhtumite dünaamikat ning kas tegemist on iseloomult pigem suurveega.

Tabel 2. Tulvajuhtumite kestus ööpäevades.

Kestus ööpäevades	Juhtumite arv
4	1
5	2
6	7
7	4
8	5
9	2
10	1
11	1

Tabel 3. Tulvajuhtumite aastane jaotus ja pikemad tulvajuhtumiteta aastakud.

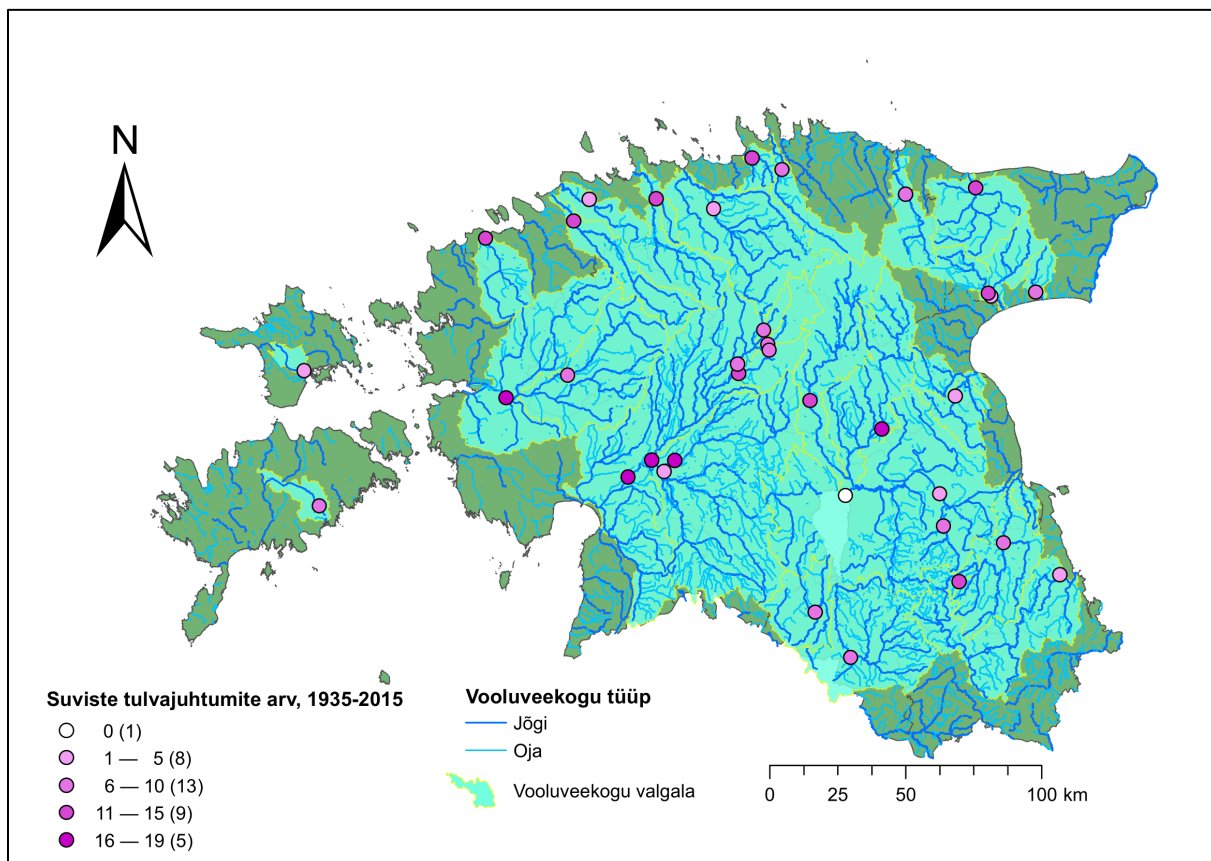
Juhtumite arv aastas	Aastate arv	Pikimad tulvajuhtumiteta perioodid aastates	Ajavahemik
0	66	16	1962–1978
1	7	12	1949–1961
2	8	11	1987–1998

Tabel 4. Tulvajuhtumite jaotus kuude lõikes. Tulva kuu määrati juhtumi esimese päeva järgi.

Kuu	Tulvajuhtumite arv
juuni	6
juuli	5
august	12

Selgub, et keskmiselt tulvajuhtum Eestis kestab 6–8 ööpäeva. Potentsiaalselt võiksid tulvad kesta ka lühemat aega, sest Haanja kõrgustikust ei ole analüüsitud ühtegi mõõtejaama (joonis 1), kus jõelangud on suuremad.

Joonisel 3 on välja toodud kõikide hüdromeetriajaamade tulvajuhtumite arvude jaotused. Nagu eelnevalt mainitud, siis Emajõe jaamades tuvastati üks juhtum (Tartu), mis vastanuks tulvajuhtumi tingimustele. Põhjendada saab seda Võrtsjärve ja Pedja soolade tasandavate mõjudega, mille korral jõe äravool ei kerki eriti kiiresti. Küllaltki väike on tulvajuhtumite arv ka saartel, kus asuvad Luguse (Hiiumaa) ja Uue-Lõve (Saaremaa) jaamad ning leiti vastavalt viis ja seitse juhtumit. Kõige enam on hüdromeetriaajaamu, kus juhtumite arv jääb vahemikku 6–10 (joonis 3).



Joonis 3. Suviste tulvajuhtumite arv hüdromeetriaamades 1935–2015. Sulgudes on välja toodud jaamade arv. Allikad: Keskkonnaagentuur, EELISE avalik WMS/WFS teenus, Maaamet.

3.1 Tulvade kirjeldused

Käesolevas töös kirjeldatakse tulvajuhtumeid aastate (suve) lõikes ja esinemist erinevates jaamades ning milline on areng ajas. Olulisel kohal on ka tippude võrdlus – millal saabus, kui kõrge, mitmes teises jaamas oli tipu aeg sarnane või erinev. Tulvade lühikirjeldused jaotati kolme alampeatükki, lähtudes hüdromeetriaamade jaotusest vastavalt ajavahemikule.

Teine oluline aspekt on sademete andmete olemasolu vastava tulvajuhtumi perioodil. Kuigi kokku jäi analüüsiks 94 mõõtepunkti üle Eesti, kus sademete ööpäevaseid andmeid on vähemalt

30 aasta jagu, siis uuritava ajavahemiku algusaastatel (ehk alates 1935. aastast) on sademete andmed kättesaadavad umbes viiendikul 94 jaamast. Andmete hulk oluliselt suureneb II maailmasõja järgsetel aastatel, kui lisaks meteoroloogia- ja rannikujaamadele on sademete summad kättesaadavad ka hüdromeetria- ja sademetejaamades.

Tulemuste tekstipõhist kirjeldust toetavad paljud joonised (kaardid, ilmapildid, jaamade sademed ja äravoolukõverad), kus tuuakse välja märkimisväärsamad tulemused või näidetena ka neid jaamu, kus tulv võis oodatust nõrgemaks jääda. Äravoolukõverate ja sademete jooniste puhul tuuakse välja lisaks juhtumi perioodile ka kuni nädal enne ja pärast, mil tulv aset leidis.

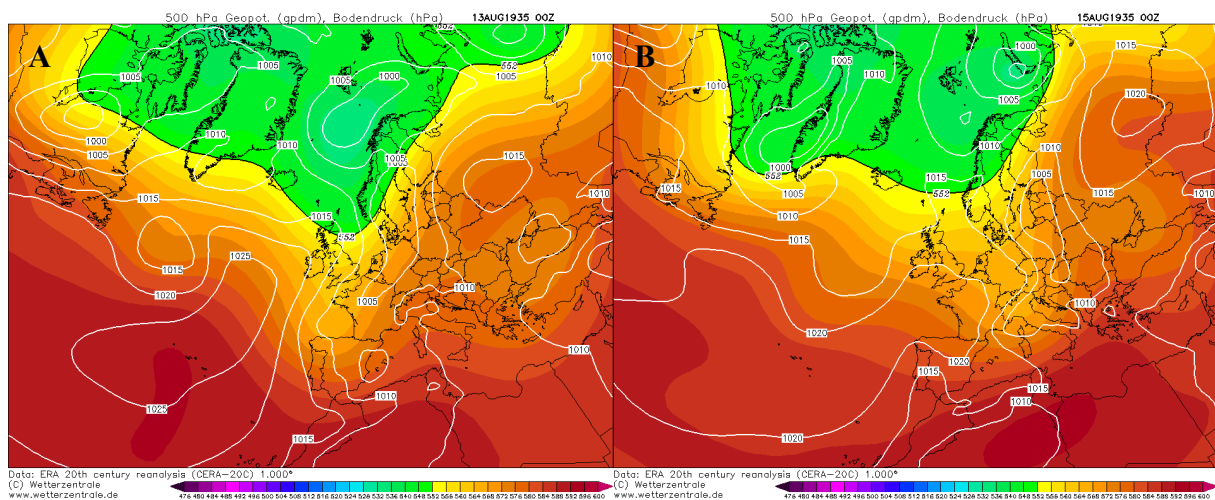
3.1.1 Esimene vahemik: 1935–1959

Kokku oli sel ajavahemikul kaheksa suvist tulvajuhtumit, mis vastavad käesolevas töös kasutatava tulvajuhtumi definitsioonile. Kuigi ajavahemik on 1935–1959, siis kõik juhtumid jäävad oluliselt lühema aja sisse, viimane tulvajuhtum selle töö kontekstis registreeriti 1949. aasta juunis. Seega 1950ndatel ei leitud ühtegi suvist tulva. Antud aja puhul on kasutada 14 hüdromeetriaaja andmeid, nendest neli jaama asuvad Pärnu jõgikonnas.

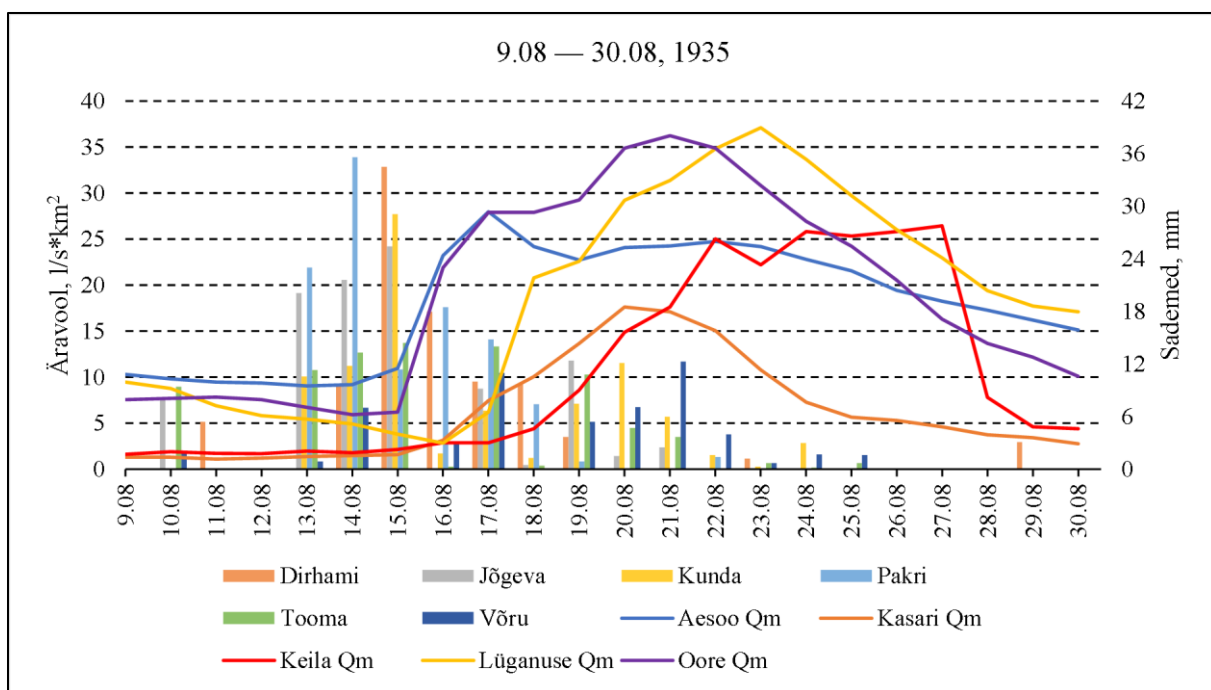
1935. aasta

Esimene käesolevas töös vaadeldav tulvajuhtum leidis aset 1935. aasta augusti keskpaigas, mil saabus Eesti aladele lõunatsüklon Vahemerelt (joonis 4), tuues kaasa suuremaid sajuhooge. Näiteks Pakril mõõdeti viiel ööpäeval järjest sademete summaks vähemalt 10 mm (max 35,6 mm, 14.08).

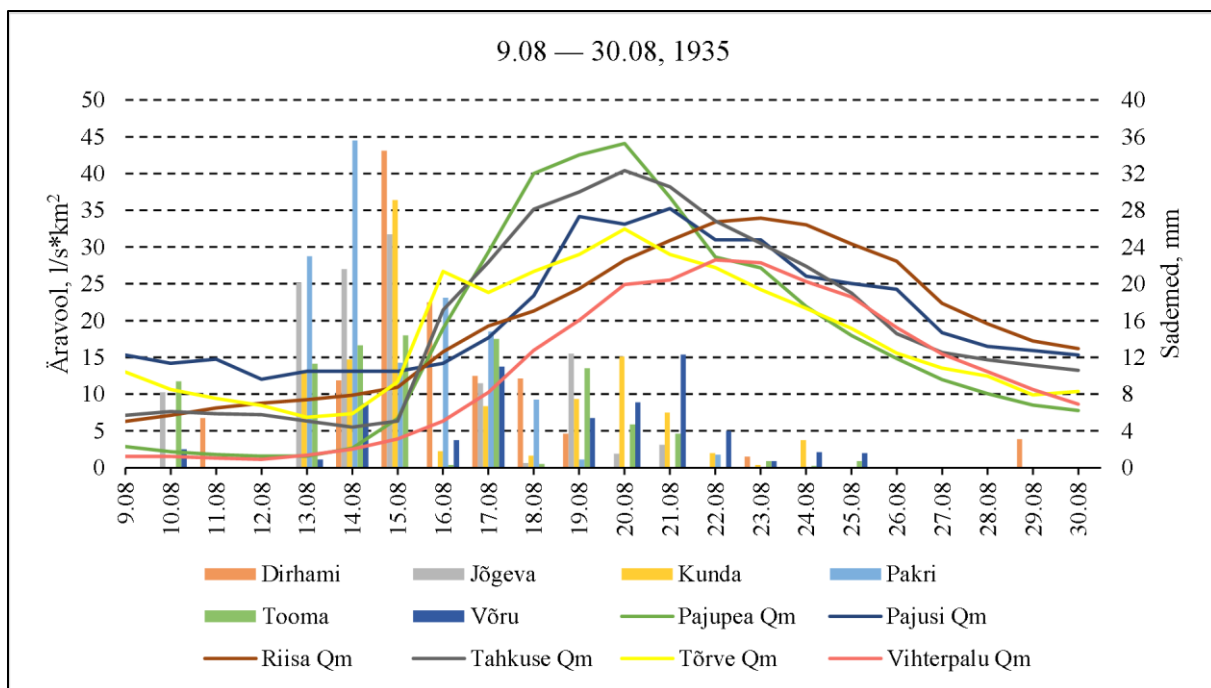
Tugevamate sajuhoogude tulemusel oli äravool suurem Pärnu jõgikonna jaamades ning Põhja-Eestis (joonised 5a ja 5b). Lisaks selgub jaamade aegridadest, et tulva tipud saabuvas lääne pool enne kui idas. Pea kõikide jaamade tipud, kus tulv registreeriti, jäid 20.08–23.08 vahele. Keilas saabus tipp 27.08, millele järgnes järsk ööpäevane langus, kui Keila äravoolumoodul langes $26,5 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ -lt $8 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ -le (joonis 5a). Teistes jaamades oli äravoolumooduli langus tunduvalt aeglasema tempoga.



Joonis 4. 1935. aasta tulvajuhtumi aegsed ilmakaardid. Pilt A – 13.08; UTC 0, tsükloni tekkepiirkond Baleaaridel. Pilt B – 15.08; UTC 0, tsüklon on jõudnud Balti riikide kohale.

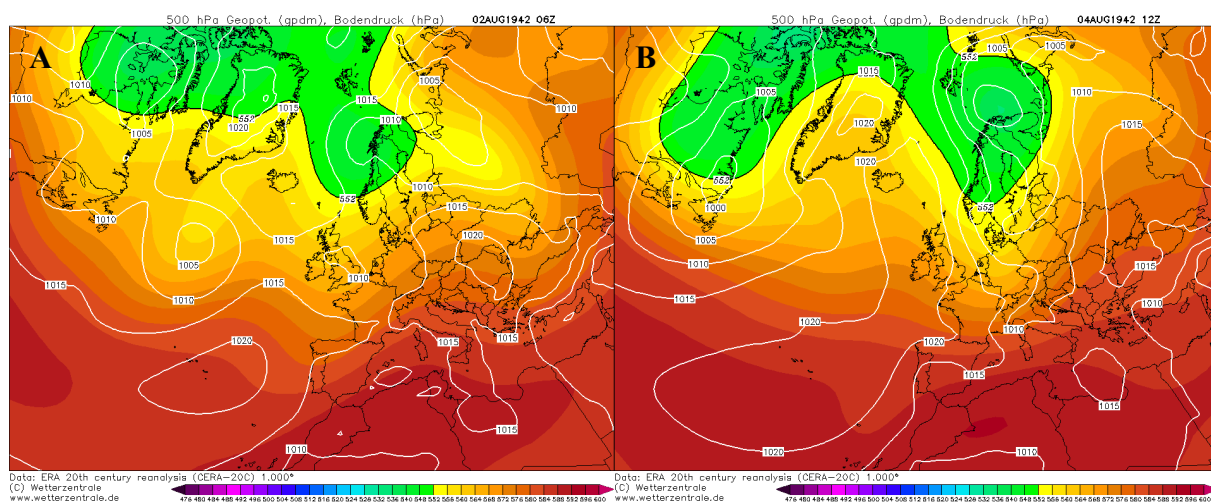


Joonis 5a. 1935. a. tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.



Joonis 5b. 1935. a. tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

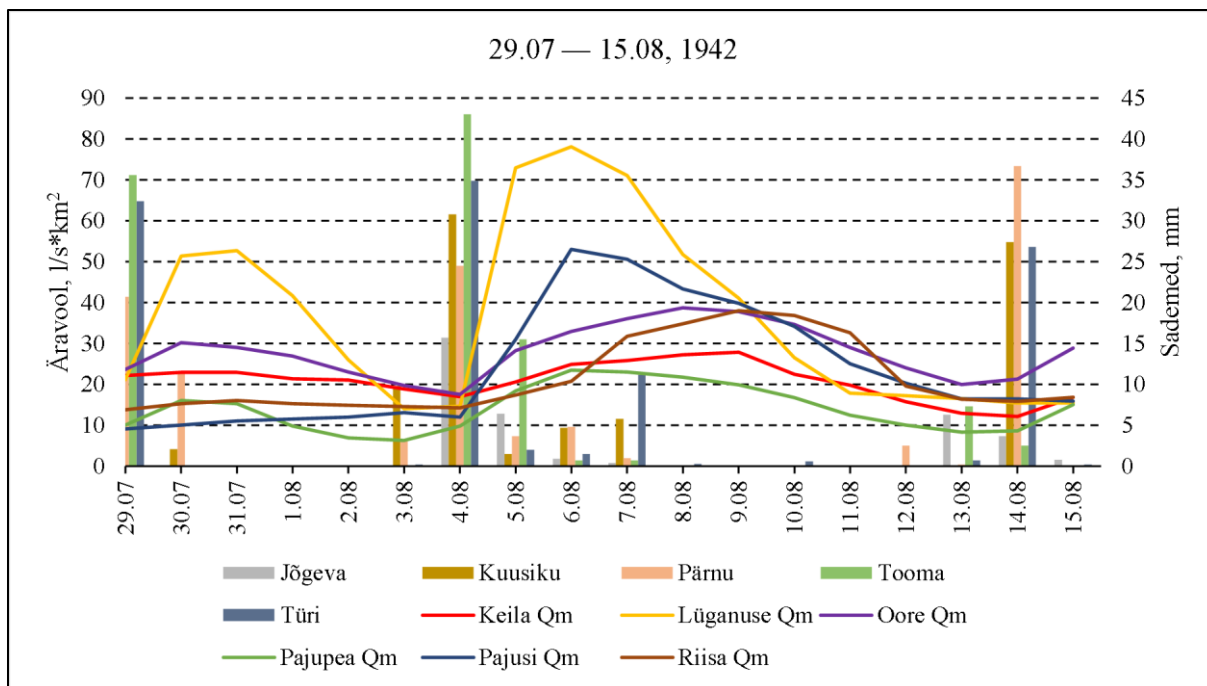
1942. aasta



Joonis 6. 1942. aasta tulvajuhtumi aegsed ilmakaardid, Pilt A – 2.08, UTC 6, tsükloni tekkepiirkond Briti saartel. Pilt B – 4.08, UTC 12, tsükloni kese Skandinaavia kohal.

1942. aasta suvine tulv leidis aset augusti esimeses pooles, kui Briti saarte kohal tekkis tsüklon, mis liikus järgmise paari päeva jooksul Eesti piirkonda, liitus Skandinaavia kohal oleva tsükloniga ning tõi kaasa tugevamad sajuhood (joonis 6). Kõige kiirema tõusuga oli Purtse jõgi, kui Lüganuse jaamas äravool viiekordistus (3.08 – 4.08; joonis 7). Tooma jaamas mõõdeti kõige suuremad sajuhulgad (43 mm, 4.08; joonis 7), kuid Toomast suhteliselt kaugele jääva Lüganuse jõe järgi võib eeldada, et Kirde-Eestis olid sademed veelgi ägedamad. Samas Lüganusele

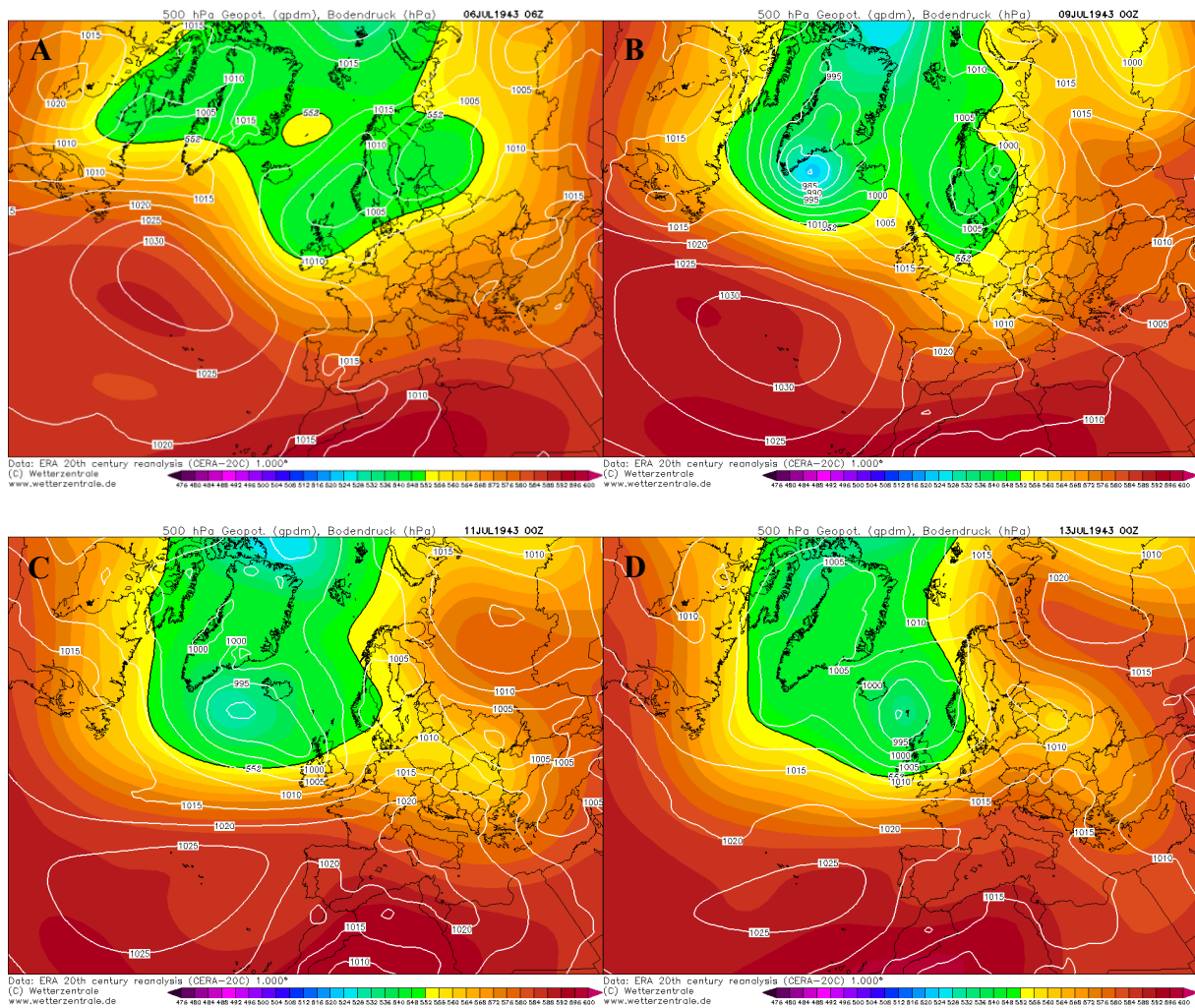
lähemal asuv Narva-Jõesuu sademete ööpäevased summad jäid alla 20 mm. Lisaks toimus märgatav äravoolumooduli tõus lühikese aja jooksul ka Põltsamaa jõel asuvas Pajusi hüdromeetriaajas, väiksemad tõusud olid ka Pärnu jaamades ning Kasaril.



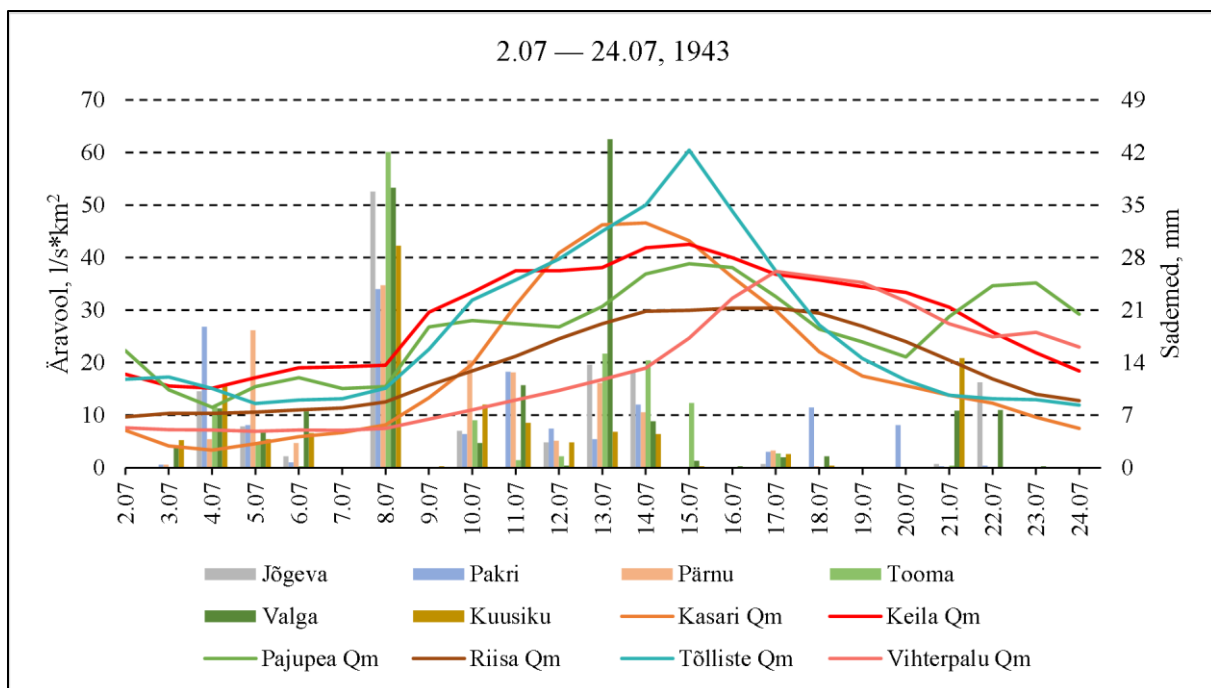
Joonis 7. 1942. aasta tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1943. aasta

1943. aasta esimene tulvajuhtum leidis aset juuli esimeses pooles, mil esmalt Põhjamere piirkonnast saabus Eestisse läänetsüklon ning mõned päevad hiljem Musta mere kohal tekkinud lõunatsüklon (joonis 8). Esimesed paduvihmad olid 8.07. Mitmes jaamas mõõdeti üle 35 mm sademeid, tuues kaasa järsud äravoolu kasvud üheksas jaamas (joonis 9). Kaheksa neist asuvad Lääne-Eestis, lisaks Tõlliste hüdromeetriaajaam, mis asub Valgamaal. Kuigi meteoroloogiajaamade järgi mõõdeti suuremad sademete hulgad Ida-Eestis (joonis 9), siis Lääne-Eesti jõgikonnad (Kasari, Keila, Pärnu) reageerisid tugevamalt paduvihmadele. Viis päeva hiljem (13.07) tabas Eestit teine tugevam sajuhoog, kuid sademete summad erinesid palju. Valgas mõõdeti sademete summaks üle 40 mm, Narva-Jõesuus 13,2 mm (joonis 9). 13.07 sademete tulemusel olulist äravoolu kasvu märgata polnud, küll aga languse aeglustumist või kõrge taseme pikemat püsimist.

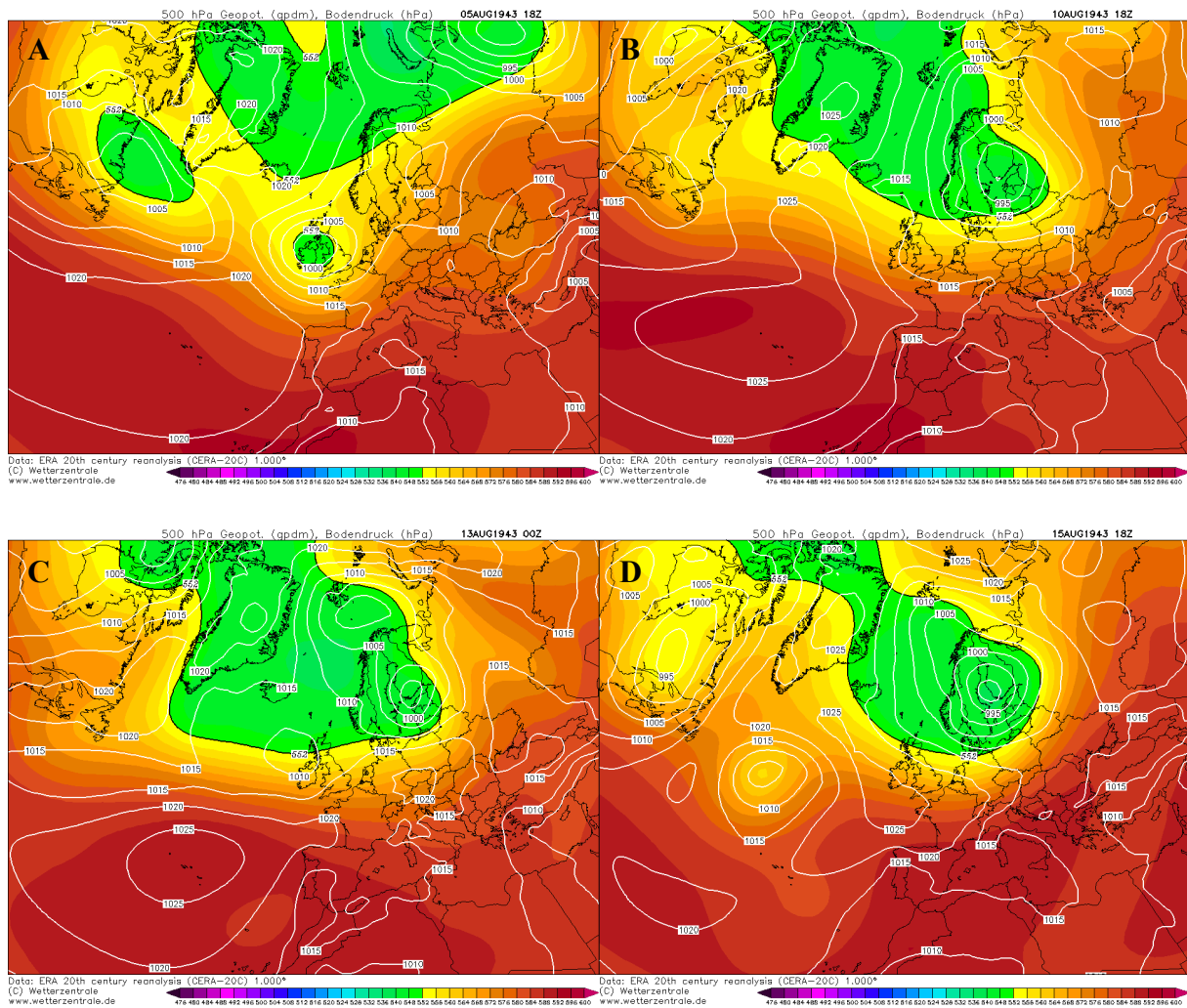


Joonis 8. 1943. aasta juulikuul tulvajuhtumi aegsed ilmakaardid. Pilt A – 6.07, UTC 6, tsükloni tekkepiirkond Põhjameres. Pilt B – 9.07, UTC 0, Põhjamere tsükloni kese on liikunud Soome lahe kohale. Pilt C – 11.07, UTC 0, tsükloni tekkepiirkond Musta mere (Ukraina) kohal. Pilt D – 13.07, UTC 0, Musta mere tsükloni kese on liikunud Valgevene ja Balti riikide kohale.

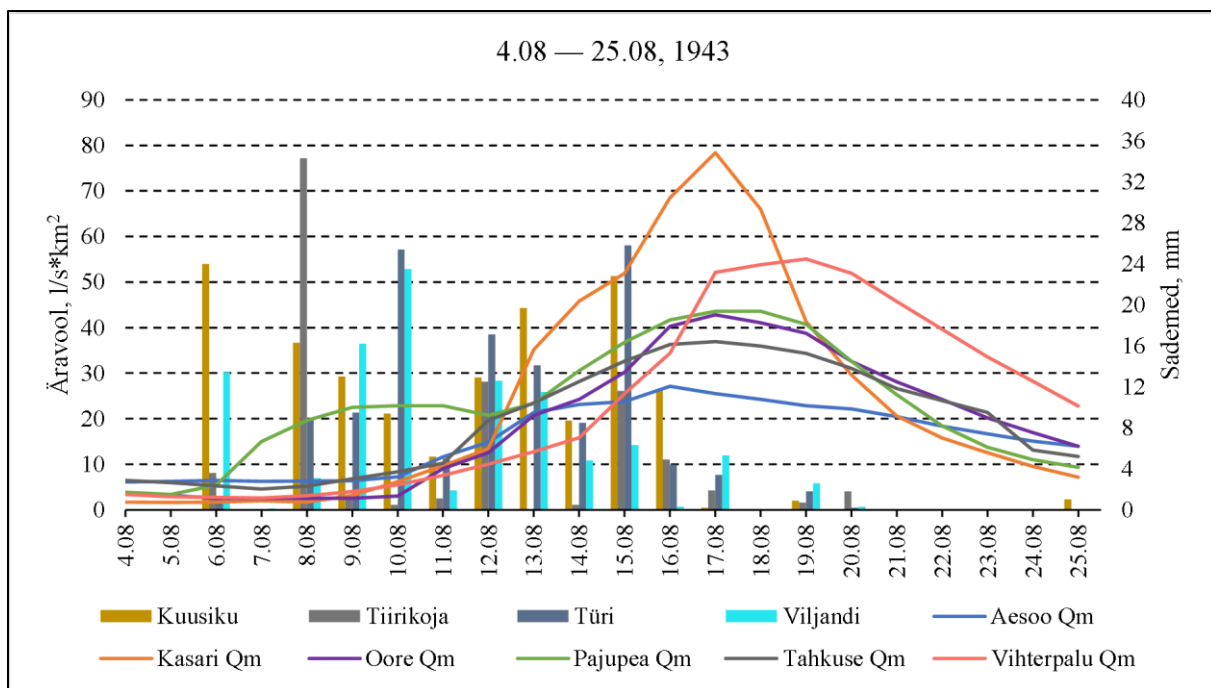


Joonis 9. 1943. aasta juulikuu tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1943. aasta teine tulvajuhtum toimus augusti keskel, mil Eestis oli kolm aktiivset tsüklonit, kaks saabusid läänest (Labradori meri ja Iirimaa) ning kolmas oli kohapealse tekkega (Soome laht), mis võis olla osatsüklon Labradorilt saabunud madalrõhkkonnast (joonis 10). See tõi kaasa kohati enam kui nädala pikkuse perioodi, mil ööpäevased sademete summad ületasid 10 mm. Kõige enam oli selliseid päevi Kuusikul, kui perioodil 6.08–16.08 mõõdeti kaheksal puhul ööpäeva sademete hulgaks üle 10 mm. Sarnaselt Kuusikule, oli vihmaseid perioode veel mitmel pool Eestis, näiteks Türi, Tiirikoja ja Viljandi, ent võimsamad sajuhood jäid Lääne-Eestisse. Kõige aktiivsemalt reageeris Kasari jõgi, saavutades tipu 17.08 (joonis 11). Samas rütmis hakkasid äravoolumoodulid kasvama ka Pärnu jõgikonna jaamades (Tahkuse, Aesoo, Oore), kus tipud jäid 16.08–18.08 vahele (joonis 11). Kõige hilisema tipuga oli Vihterpalu jaam, kus äravool oli kõrgeim 19.08, kuigi tõus oli enam-vähem samal ajal võrreldes teiste jaamadega. Ida-Eesti jaamades äravool praktiliselt ei muutunud, ent sademete summad oli ka väiksemad.

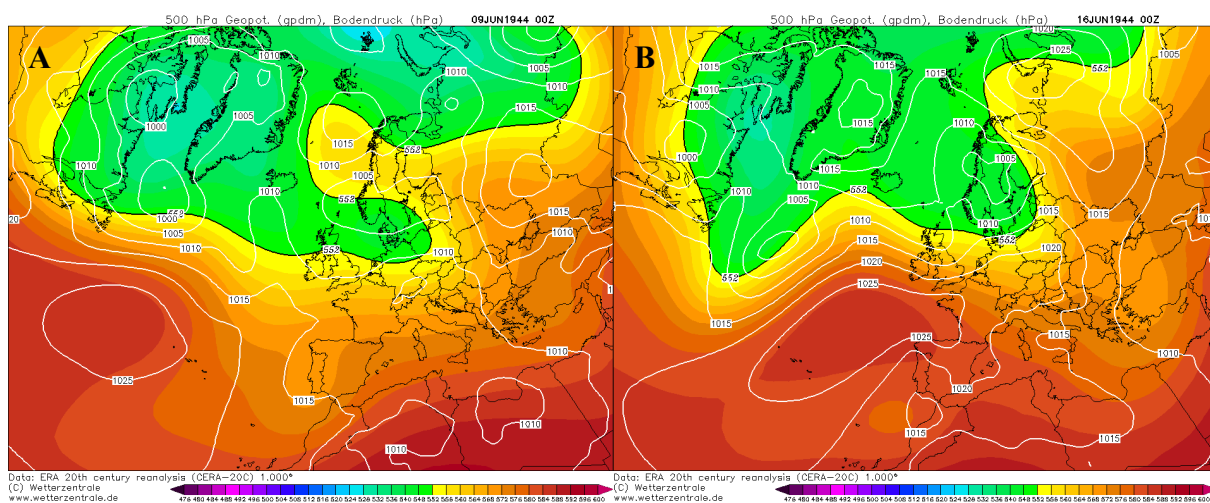


Joonis 10. 1943. aasta augusti tulvajuhtumi aegsed ilmakaardid. Pilt A – 5.08, UTC 18, tsüklon tugevnemas Labradori mere kohal. Pilt B – 10.08, UTC 18, tsükloni kese on jõudnud Soome kohale. Pilt C – 13.08, UTC 0, Soome lahe kohal tugevneb tsüklon ja Iirimaa kohal tekib uus tsüklon. Pilt D – 15.08, UTC 18, Iirimaa kohal tekkinud tsükloni kese on jõudnud Soome kohale.



Joonis 11. 1943. aasta augustikuu tulv Eesti jõgedes. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1944. aasta

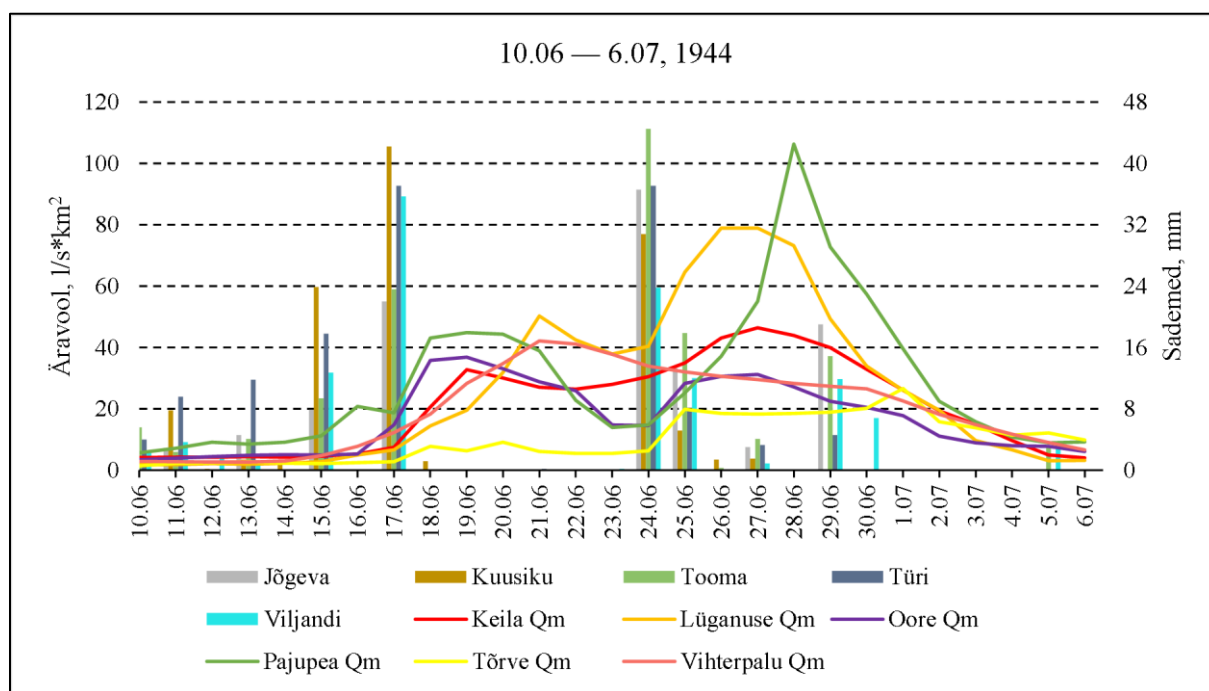


Joonis 12. 1944. aasta juunikuu esimese tulvajuhtumi aegsed ilmakaardid. Pilt A – 9.06, UTC 0, tekkepiirkond Labradori mere kohal. Pilt B – 16.06, UTC 0, tsükloni on kesse Skandinaavia kohale jõudnud.

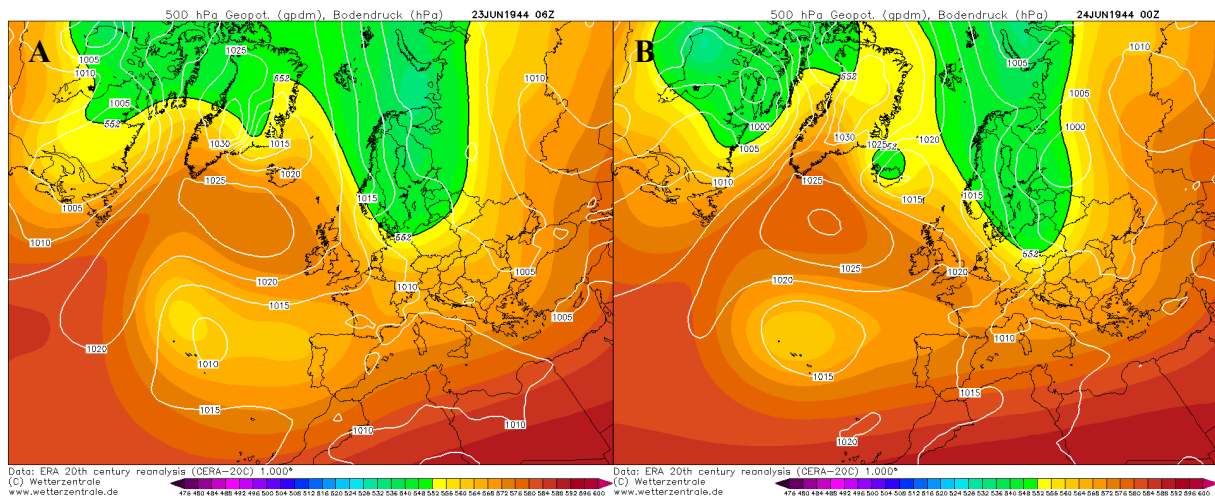
Sarnaselt 1943. aastale, oli ka 1944. aastal kaks tulvajuhtumit. Esimene kaasnes Labradori poolsaarelt Eesti piirkonda saabunud tsükloniga (joonis 12), tuues kaasa paduvihmasid ning ööpäevased sademete summad ületasid 40 mm (joonis 13). Antud tulva puhul olid järsumad tõusud Pajupea ja Lüganuse jaamas, kus äravoolumoodul tulva tipu hetkel oli üle 40 l/s*km².

1944. aasta tulvale on iseloomulik ka tippude samaaegsus, mis enamasti jäävad 18.06–19.06 vahele, erandiks on Lüganuse ja Vihterpalu jaamad, kus tipud mõõdeti 21.06 (joonis 13).

1944. aasta juuni lõpu tulv on teistsuguse iseloomuga. Rõbinski veehoidla kohal tekkinud tsüklon tugevnes üsna kiirelt (joonis 14) ning tõi kaasa 24.06 tugevad paduvihmad, ületades taaskord 40 mm piiri (joonis 13). Eraldi tuleb välja tuua Pajupea, kus eelneva tulva järgselt oli äravoolumoodul langenud 15 l/s*km²-ni (24.06.1944), kuid järgmise nelja ööpäevaga kasvas äravoolumoodul 106 l/s*km²-ni (joonis 13). Lüganusel, kus samuti äravoolumoodul tegi suure hüppe, tõusis äravoolumoodul kolme ööpäevaga (24.06–26.06) 38 l/s*km²-lt 79 l/s*km²-ni. Võrreldes Lüganuse jaama tulvamustriga, siis sarnaselt käitus ka jõgi ka Keila jaamas, kus eelneva tulva tipule järgnes aeglasem langus, millele järgnes teine tulv, kuid tipp jäi madalamaks võrreldes Pajupea või Lüganusega, olles 27.06 paiku 46 l/s*km². Kõigi kolme jaama puhul (Keila, Pajupea, Lüganuse) järgnes tipule kiirem langus, sõltuvalt sellest, kui kõrge tipp ise oli. Samuti selgub, et Vihterpalu jaamas ei esinenud teist suuremat tõusu peale eelmist juhtumit, vaid äravoolu langus jätkus, mis võib viidata sademete vähesusele piirkonnas.

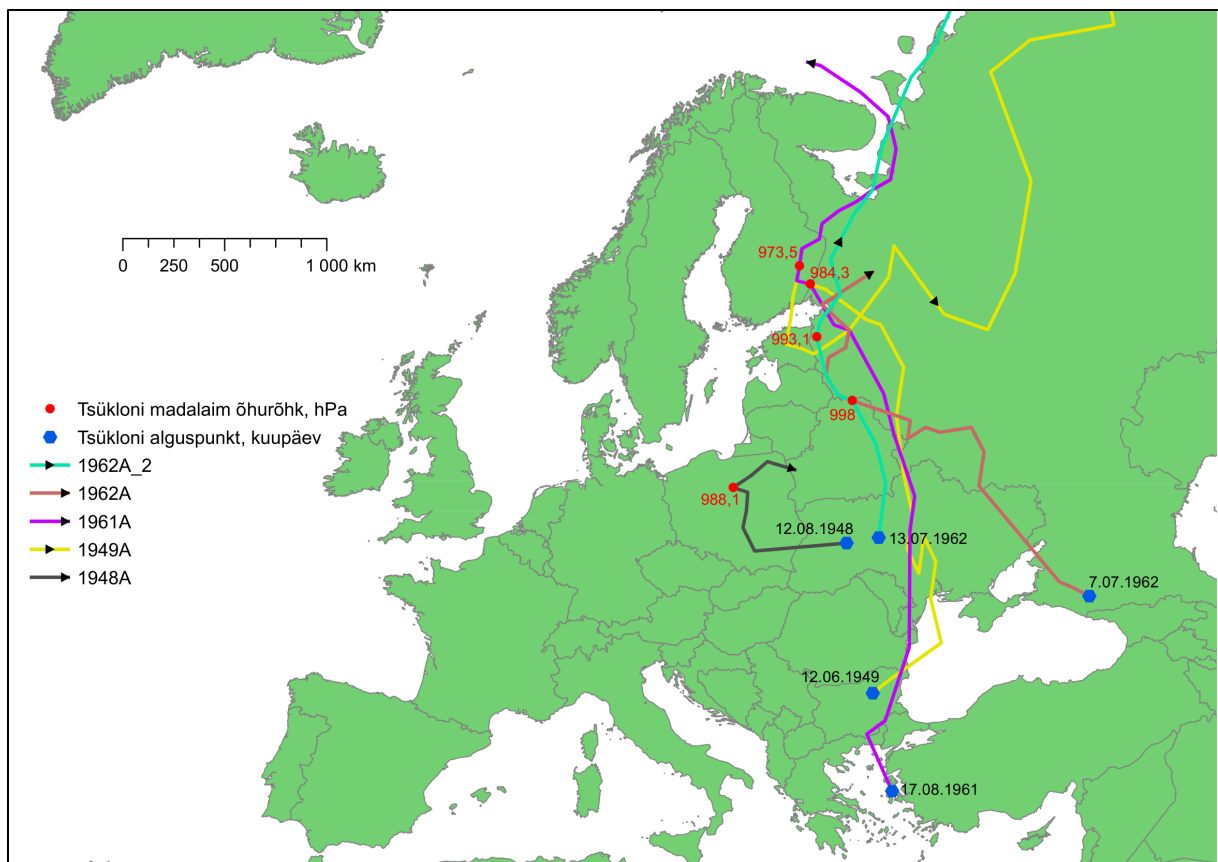


Joonis 13. 1944. aasta tulvad Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.



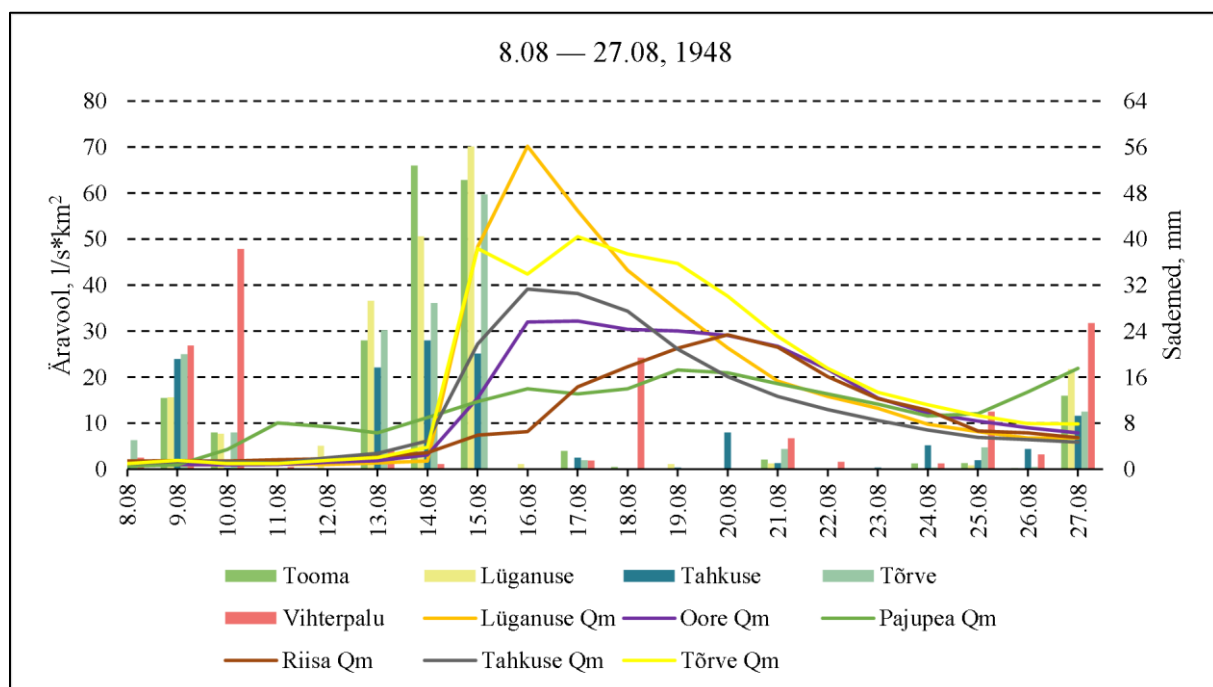
Joonis 14. 1944. aasta juunikuu teise tulvajuhtumi aegsed ilmakaardid. Pilt A – 23.06, UTC, tsükloni tekkepiirkond Rõbinski veehoidla kohal. Pilt B – 24.06, UTC 0. Tugevnenud tsüklon Loode-Venemaal.

1948. aasta



Joonis 15. Suviseid tulvasid põhjustanud lõunatsüklonid ajavahemikul 1948–1962.

1940ndate eelviimaseks tulvaks oli 1948. augusti keskpaiga juhtum, kus ilmselt Musta merest alguse saanud ning hiljem Poola kohal liikunud tsükloni kese tõi tugevad sajuhood (joonis 15; 1948A). Perioodil 13.08–15.08 mõõdeti Toomas, Jõgeval ja Lüganusel sademete summaks üle 120 mm. Kolme eelnevalt mainitud jaama sademed põhjustasid just sealse piirkonna hüdromeetriaaamades (Lüganuse ja Tõrve) kõige suurema äravoolu kasvu (joonis 16). Antud juhtumi puhul kehtib klassikaline „reegel”, et äravoolumoodulite kõrgemad tipud (Lüganusel 71 l/s*km², 16.08; joonis 16) mõõdeti jaamades, kus sademete summad olid suuremad. Näiteks Tahkuse jaamas ning lähedal asuvad Aesoo ja Oore samuti tipnesid 16.08, kuid mitmes teises jaamas saabus tipp 3–4 ööpäeva hiljem ning tulv oli ajas tunduvalt laugem. Lisamärkusena võib välja tuua ka 9.08–10.08 sajuhood (Vihterpalus kahe päevaga 60 mm), kuid olulist äravoolu tõusu ei mõõdetud.

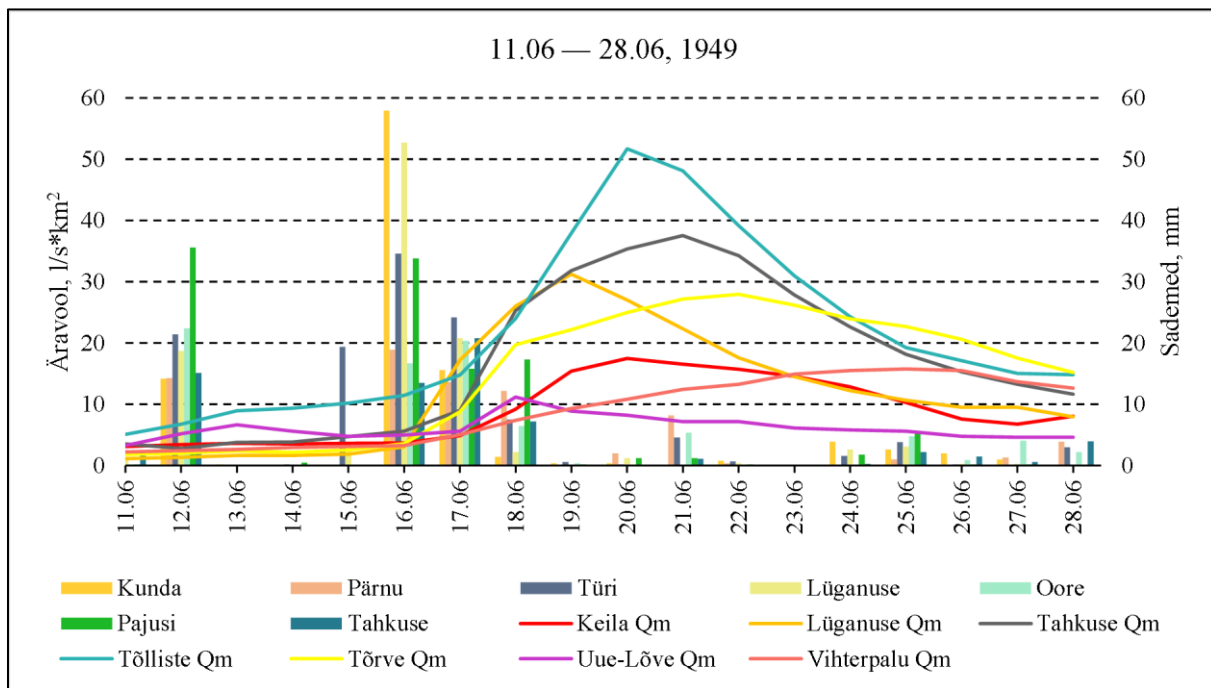


Joonis 16. 1948. aasta tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1949. aasta

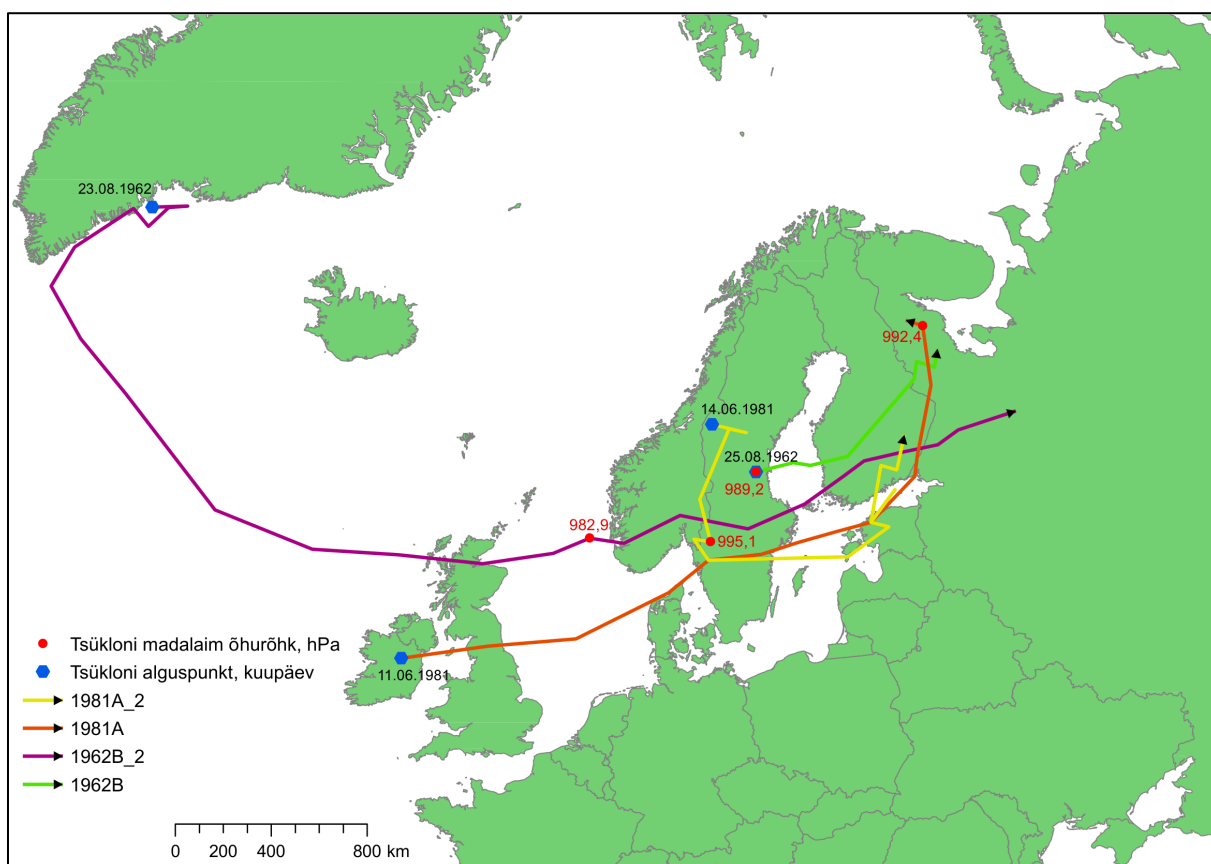
1940ndate tulvade rea lõpetab 1949. aasta juuniku juhtum, mille puhul lõunatsükloni kese (joonis 15; 1949A) möödus Eestist idast, kuid paar päeva hiljem liikus Ida-Eesti kohal ning seejärel Venemaa suunas edasi liikus. Selle tulemusena oli Eesti 2–3 päeva pikkused paduvihmade perioodid, kõige enam sadas Virumaa jaamades (Kunda, Lüganuse, joonis 17), kus ööpäevased sademete summad olid 50 mm või enam. Kõrgeimad äravoolud olid Tõlliste ja Tahkuse jaamas, aga eelmainitud kohtades olid sademete ööpäeva maksimumid kuni 25 mm.

Juhtumit tervikuna vaadates, siis saab jaamad jaotada kolmeks – kiire ja aeglasema tipuga ning pikemaajalisem aeglane tõus. Valdavalt saabus tipp 2–3 ööpäeva pärast paduvihmasid, kolmes jaamas (Tõrve, Tahkuse, Oore) saabus tipp 4–5 ööpäeva peale sajuhooge (joonis 17). Pikemaajalise tõusuga olid Pajusi, Vihterpalu ja Riisa, mis ei liigitunud tulvaks oma aeglase tõusu ning tipu lähedase tasemel püsimise tõttu.



Joonis 17. 1949. aasta juunikuu tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

3.1.2 Teine vahemik: 1960–1984



Joonis 18. Suvised tulvasid kaasa toonud läänetsüklonite keskmete trajektoorid ajavahemikul 1962–1981.

Tulvajuhtumi aastad on selles peatükis 1961, 1962 ja 1978. Lisaks, kui aastastel 1935–1959 sai analüüsida 14 jaama tulemusi, siis alates 1960. aastast lisandub veel 13, mis enamasti jäävad Põhja- või Ida-Eestisse, ainukese Lääne-Eesti jaamana on esindatud Konuvere (Kasari jõgikond). Kokku on ajavahemiku 1960–1984 analüüsis 27 hüdromeetriaajama.

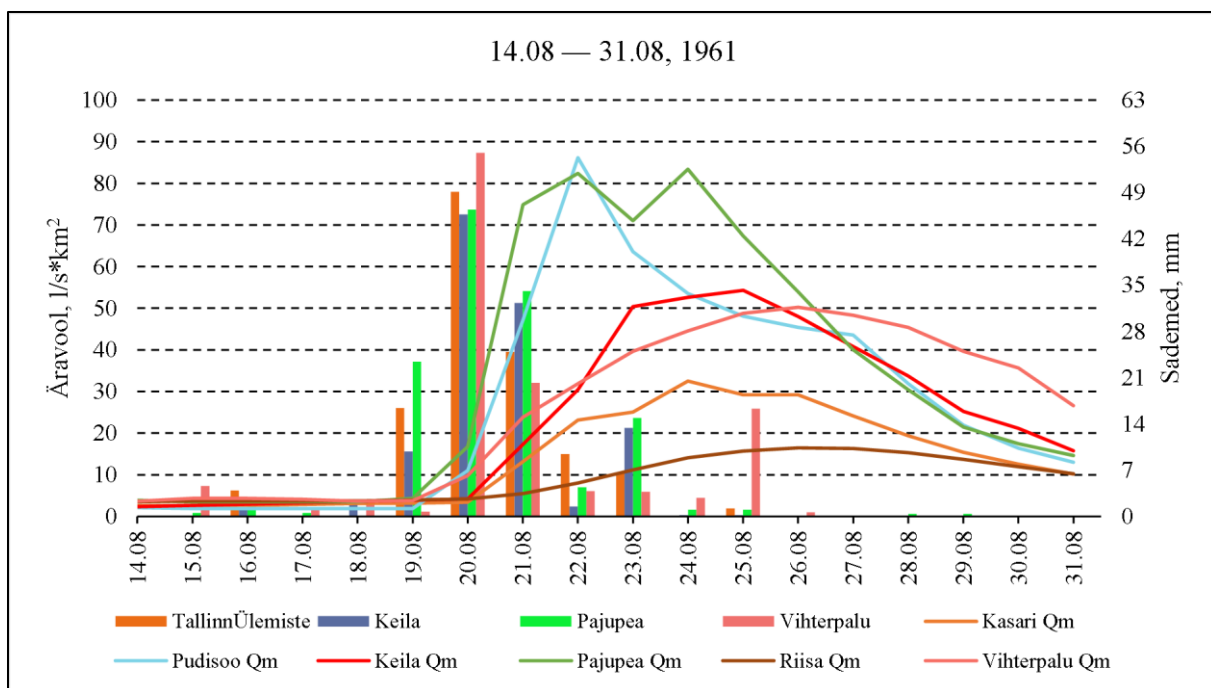
Joonised 15 (alates 1960ndatest), 18 ja 22 annavad ülevaate aastate 1960–1984 tsüklonite trajektooridest, mis Eesti aladele jõudes tõid kaasa sajuhooge, põhjustades tulvasid.

1961. aasta

1961. aasta juhtum oli augusti teises pooles, kui Eestist möödus tsüklon ida poolt, millega kaasnesid paduvihmad (joonis 15; 1961A). Kõige suuremad ööpäevased sademete summad mõõdeti Harjumaa jaamades, näiteks Vihterpalu ööpäevane maksimum oli 55 mm (20.08; joonis 19). Kuigi sajuhood tabasid suuremat osa Eestit, siis väljaspool Harjumaad oli äravoolumoodul üle 30 l/s/km^2 ainult Kasari jaamas (24.08). Valdavalt olid jaamade maksimumid $10\text{--}20 \text{ l/s*km}^2$. Harjumaa jaamad saab jagada kaheks – kiirema tõusu ja kõrgema

tipuga ning laugema kulgemisega. Esimese paari moodustavad Pajupea ja Pudisoo (joonis 19), kus mõõdeti kaks päeva peale sajuhooge äravooluks üle 80 l/s*km^2 .

Teise paari moodustavad Keila ja Vihterpalu jaam. Kuigi 20.08 mõõdeti Keilas ööpäeva sademete summaks 45,7 mm ning varem mainitud Vihterpalus 55 mm (joonis 19), siis äravoolumoodulid järsku tõusu ei teinud, vaid toimus laugem ning pikemaajalisem tõus. Keilas oli äravoolumoodul kõrgeim 25.08, Vihterpalus päev hiljem.



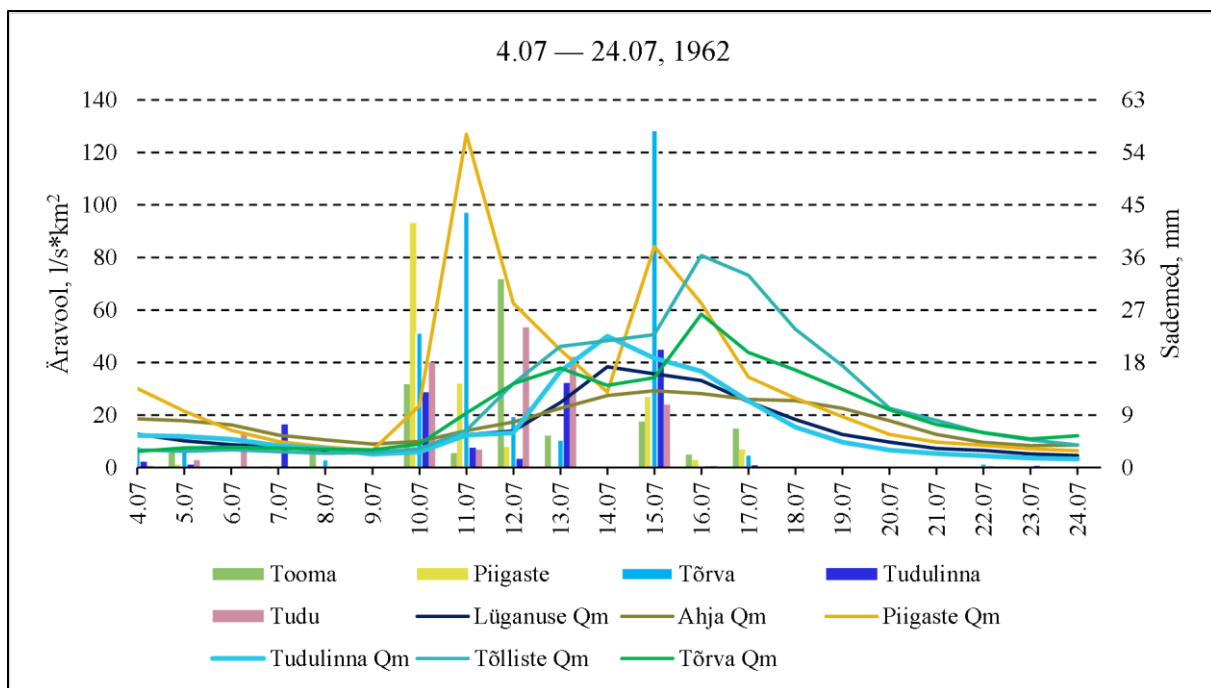
Joonis 19. 1961. aasta tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1962. aasta

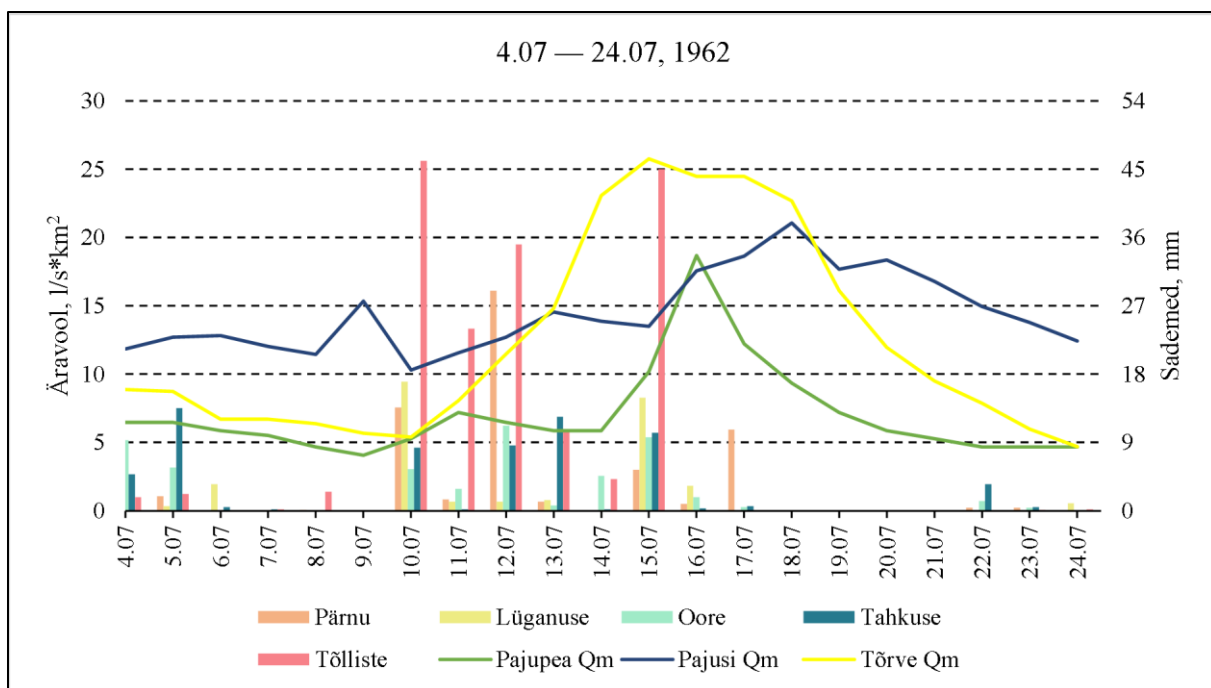
1962. aasta esimene tulvajuhtum kaasnes kahe järjestikuse lõunatsükloniga (joonis 15; 1962A, 1962A_2), mis möödusid Eestist ida poolt mõne päevase vahega ning mõlemad tõid kaasa suuri sajuhooge, eriti Ida- ja Kagu-Eestis. Näiteks Tõrva 15.07 sademete summaks mõõdeti 57,8 mm (joonis 20a). Lisaks mõõdeti üle 40 mm ööpäeva sademeid veel näiteks Tõlliste ja Piigaste jaamas, kus hakkasid paduvihmade tõttu äravoolud väga kiiresti tõusma.

Antud juhtumi puhul mõõdeti Piigastel 10.07 sademete summaks 41,9 mm, 11.07 oli äravool 127 l/s*km^2 , päev enne 24 l/s*km^2 (joonis 20a). Kuigi Tõrvas olid sajuhood kõige suuremad, siis kõrgeimaks äravooluks mõõdeti 58 l/s*km^2 , Tõllistel aga 81 l/s*km^2 (mõlemad 16.07).

Teistes Eesti jaamades muutused nii suured polnud, esile kerkisid mõned üksikud jaamad, kus 15.07–18.07 oli äravool Tõrves kuni 25 l/s*km^2 , Pajupeal kuni 20 l/s*km^2 (joonis 20b).



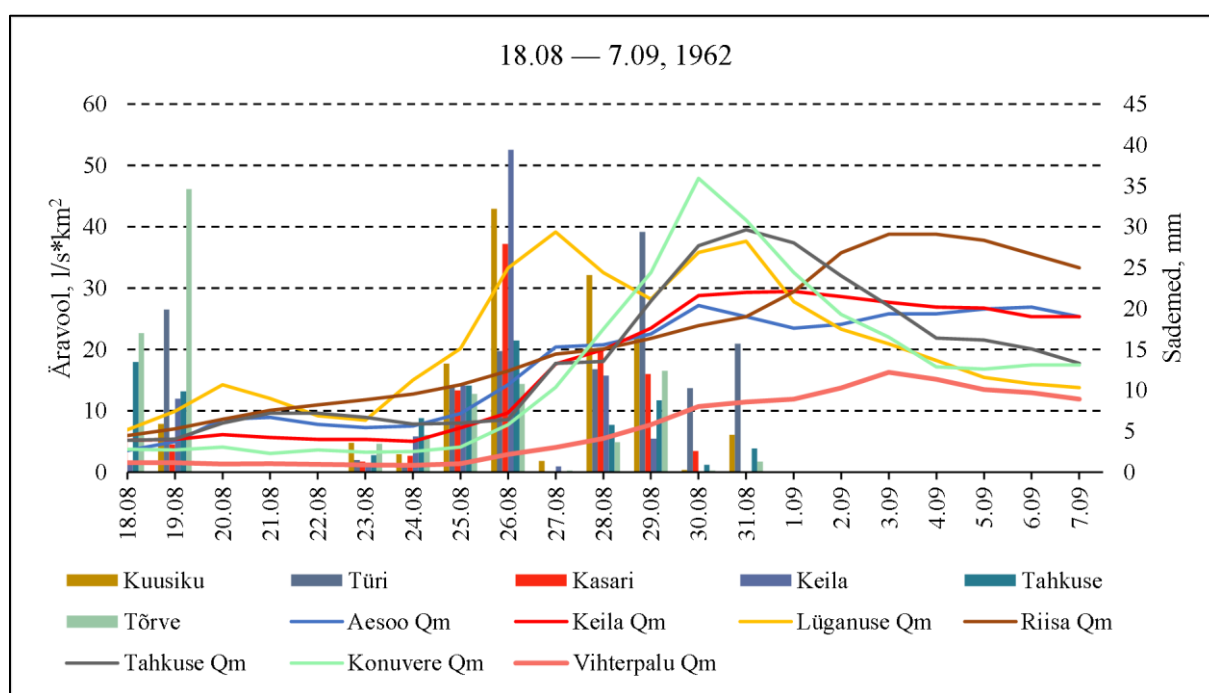
Joonis 20a. 1962. aasta juuli tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.



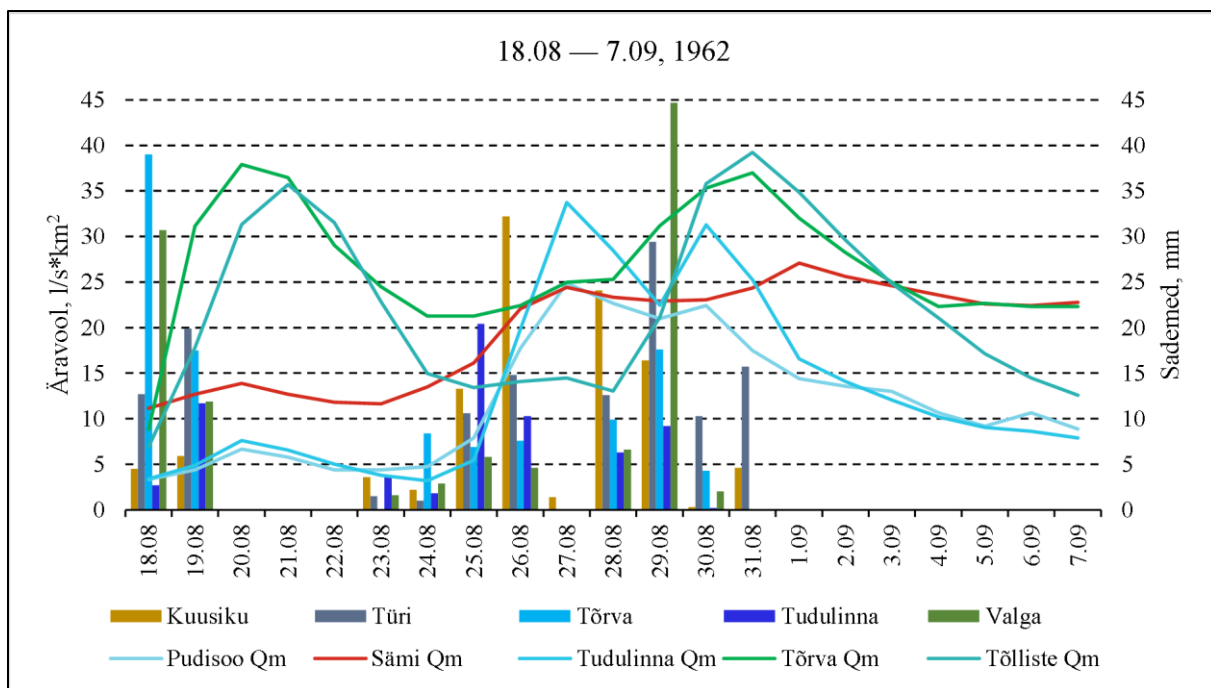
Joonis 20b. 1962. aasta juuli tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1962. aasta teine tulv aga oli üsna kaootilise kulgemisega. Tegemist on augusti lõpu ning septembri alguses aset leidnud juhtumiga, kus nädala pikkune suuremate sajuhoogude periood tõi erineva kulgemisega tulvasid (joonis 18; 1962B, 1962B_2).

Laiemas plaanis saab jaamad jaotada kaheks. Esimese grupi moodustavad need jaamad, kus äravool hakkas kiiremini tõusma pärast 26.08 sajuhooge ning tulva tipp saabus 30.08–31.08 paiku (joonised 21a, 21b). Enamasti kulges tulv eelkirjeldatult Lääne-Eesti jaamades ning Tudulinna ja Piigastel. Äravoolude maksimumid olid 35–50 l/s*km² (joonised 21a, 21b). Teise grupi moodustavad jaamad, kus äravoolu tõus ei olnud nii kiire, vaid sujuvam ning pikemaajalisem. Näiteks Riisal tõusis äravool igapäevaselt perioodil 18.08–3.09, kuid oli üldiselt sujuv ning täitis $q_{muut} > q_{\sigma}$ tingimuse alles augusti viimasel päeval (joonis 21a). Sujuvama äravoolukõveraga jaamadele oli iseloomulik pärast maksimaalse äravooluni jõudmist sarnasel tasemel püsimine. Äravoolud jäid väiksemaks, maksimumid olid alla 30 l/s*km². Tudulinna ja Tõrve jaama puhul tasub märkida, et 18.08–21.08 järsu tõusu periood on väiksema ulatusega tulvajuhtum ning ei kajastu töö tulemustes.

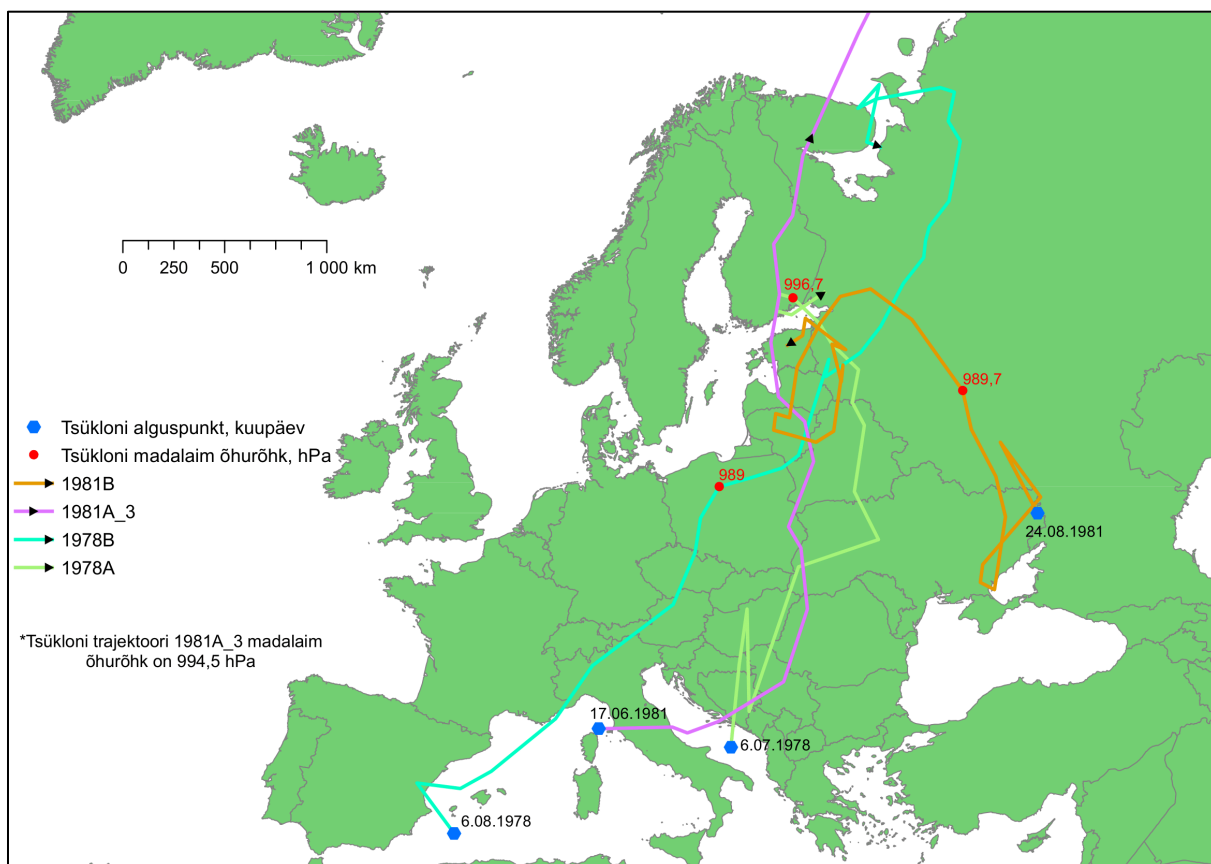


Joonis 21a. 1962. aasta augusti tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.



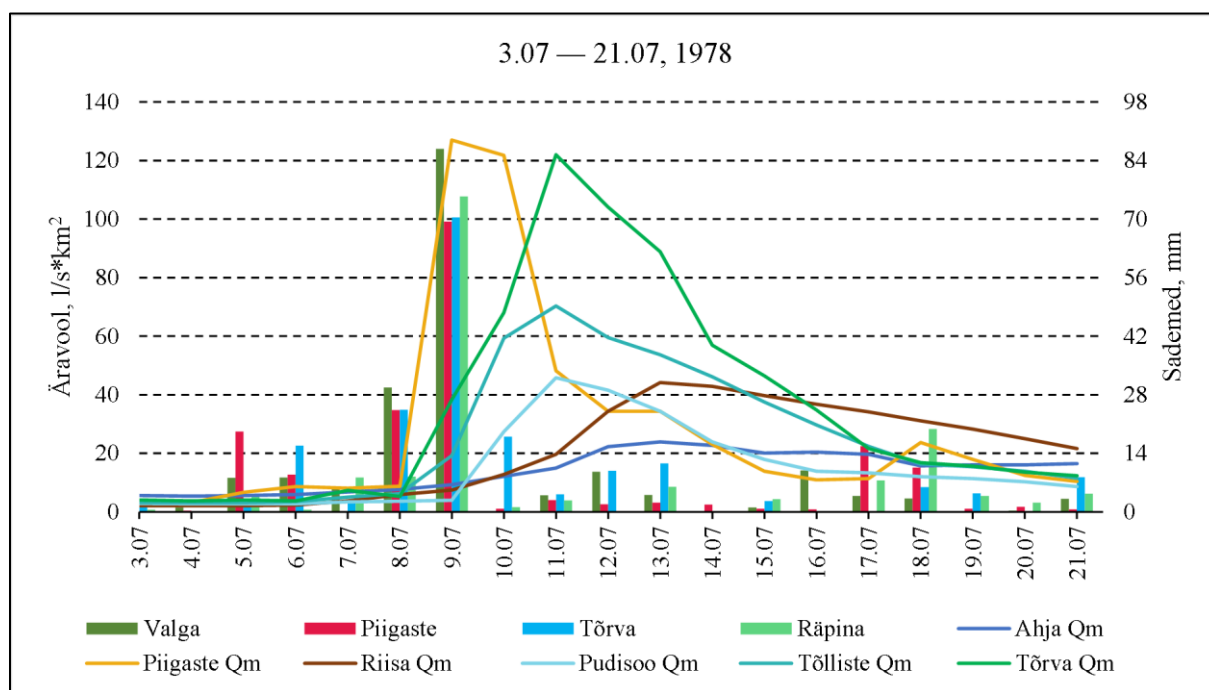
Joonis 21b. 1962. aasta augusti tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1978. aasta



Joonis 22. Suviseid tulvasid põhjustanud lõunatsüklonid ajavahemikul 1978–1981.

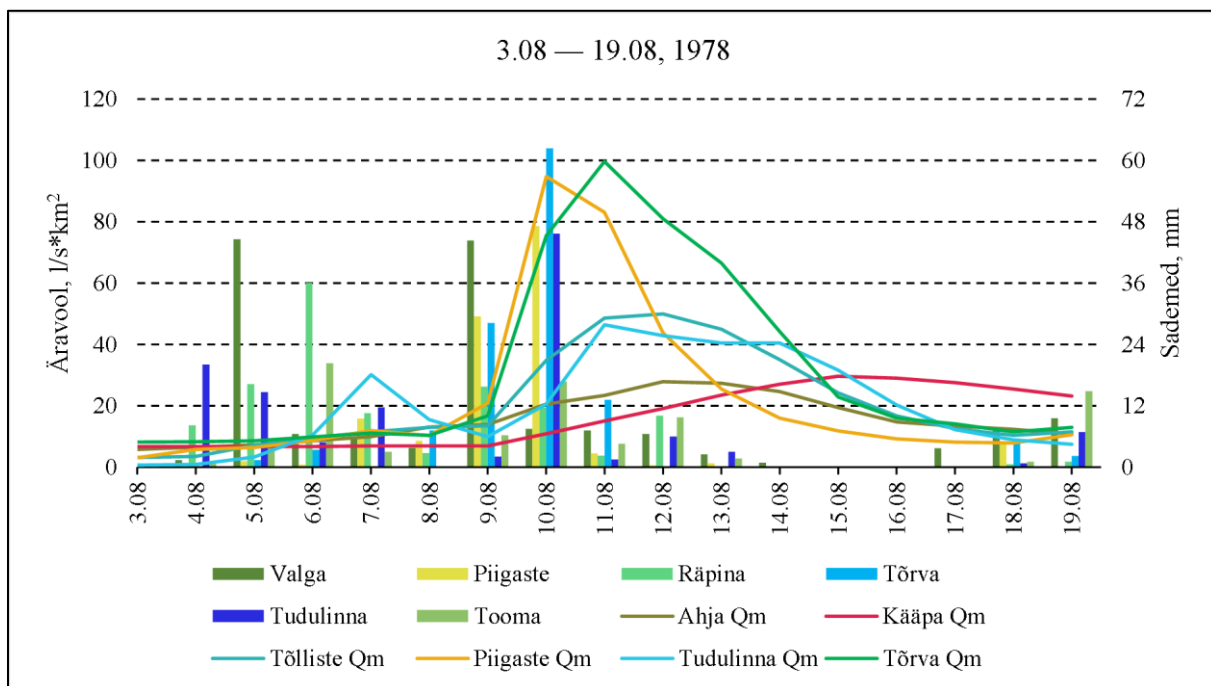
1978. aasta esimene tulvajuhtum jääb juuli esimesse poolde. Antud juhul sai tulv alguse järjekordse lõunatsükloni saabumisest Eesti piirkonda (joonis 22; 1978A), mille tulemusena mõõdeti 9.07 sademete hulgaks Valgas 86,8 mm (joonis 23) ning Tõllistel 83,2 mm. Lisaks ületasid 70 mm piiri veel mitmed teised Kagu-Eesti jaamad, näiteks Tõrva ja Räpina. Ekstreemsete sademete tulemusena mõõdeti Piigaste jaamas äravoolu maksimumiks 127 l/s*km² (joonis 23). Tõrvas oli maksimaalne äravool 122 l/s*km², Tõllistel 71 l/s*km². Mujal Eestis jäid sademete summad tagasihoidlikumaks, kuid olid üsna suured, jäädes 20–30 mm vahele. Samas äravoolud niivõrd järsku tõusu ei teinud ning tipud jäid oluliselt madalamaks. Näitena võib välja tuua Riisa ja Pudasoo, kus äravooluks mõõdeti pea 45 l/s*km², mis olid suurimad näidud väljaspool Kagu-Eestit (joonis 23).



Joonis 23. 1978. aasta juulikuulise tulvajaamaandade ja sademete andmed. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1978. aasta augusti tulvajuhtumi sündmused algasid umbes kuu aega hiljem pärast eelmist, mil Eesti piirkonnas liikus üks lõunatsüklon ning tõi kaasa paduvihmad (joonis 22; 1978B). Sarnaselt eelmisele tulvale, mõõdeti suurimad sademed ja äravoolud Kagu-Eestis (10.08 sademed – Tõrvas 62,8 mm, Q_{\max} 99,6 l/s*km²; joonis 24). Sarnaselt eelmisele tulvale saabus tulva tipp Piigaste jaamas kõige tugevamate paduvihmadega samal päeval (joonis 24). Tagasihoidlikumad tipud olid Lüganuse ja Tudulinna jaamas, kuigi viimati mainitud kohas tõusis äravool 10.08–11.08 vahel küllaltki järsult, mille tingis 10.08 mõõdetud 45,7 mm

sademeid (joonis 24). Olulisem erinevus kuu aja taguse juhtumiga oli see, et antud juhtumi puhul polnud olulist äravoolu tõusu Riisa ja Pudisoo jaamas.

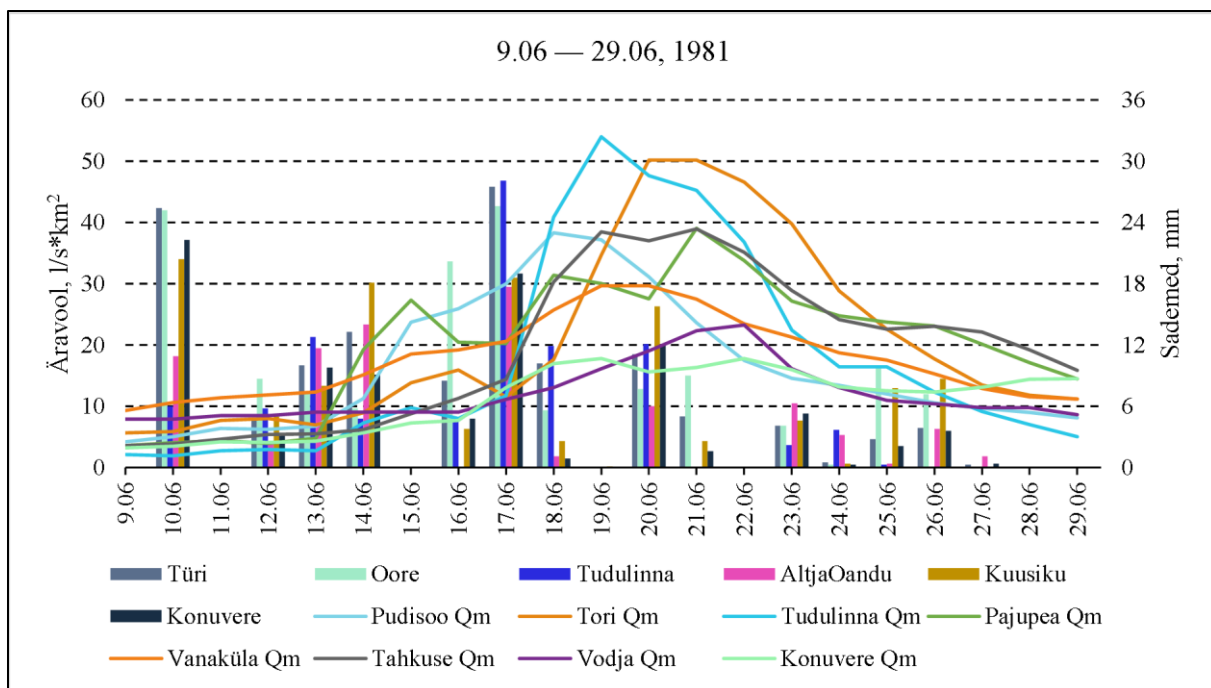


Joonis 24. 1978. aasta augustikuu tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1981. aasta

1981. aasta esimest tulvajuhtumit võib käesolevas töös pidada kõige kompleksmaks. Tegemist oli kolme tsükloni kombinatsiooniga (kaks läänest, üks lõunast; joonis 18, 1981A, 1981A_2; joonis 22, 1981A_3). Antud juhtum katab ruumiliselt ära suurema osa Eestist, kus väikseimad äravoolu tõusud olid Kagu-Eestis ja saartel.

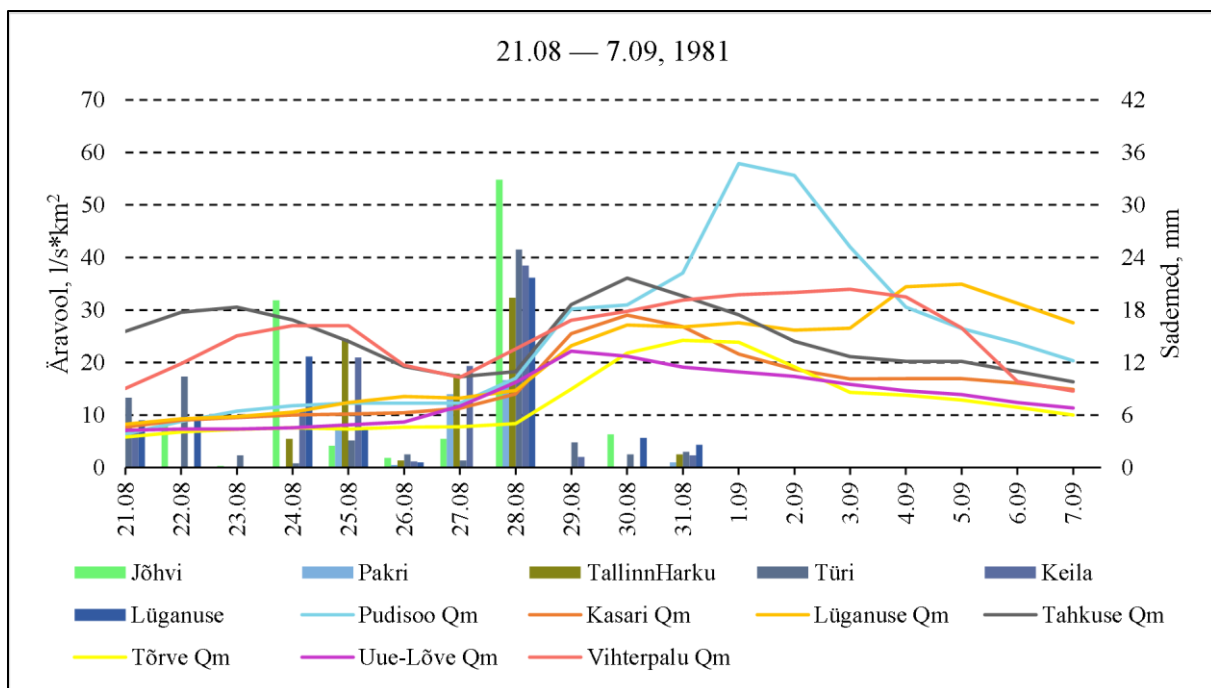
Antud juhtumi saab jaotada kaheks – jaamad, kus kõrgeim äravool saabub 2–3 päeva pärast 17.06 paduvihmasid (joonis 25) ning jaamad, kus äravoolu tõus oli aeglasem. Suuremad sajuhood tabasid Eestit ka 20.06, kuid sellele ei järgnenud märkimisväärset äravoolu tõusu, välja arvatud mõne erandiga, näiteks Pajupea (joonis 25). Enamasti püsivad äravoolud tipu lähedal, millest võiks järeldada, et viimased sajuhood hoidsid äravoolu taset stabiilsena, kuid mitme jaama puhul (eeskätt Pudisoo ja Türi) nähtub, et äravool hakkab peale 20.06 sademeid üsna kiirelt langema. Kõige huvitama käiguga oli Pajupea hüdromeetriaajaam, kus peale igat suuremat sajuhoogu on märgata kiiret äravoolu tõusu, kuid enne järgmist sajuhoogu on jõudnud mõnevõrra langeda (joonis 25).



Joonis 25. 1981. aasta juunikuu tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

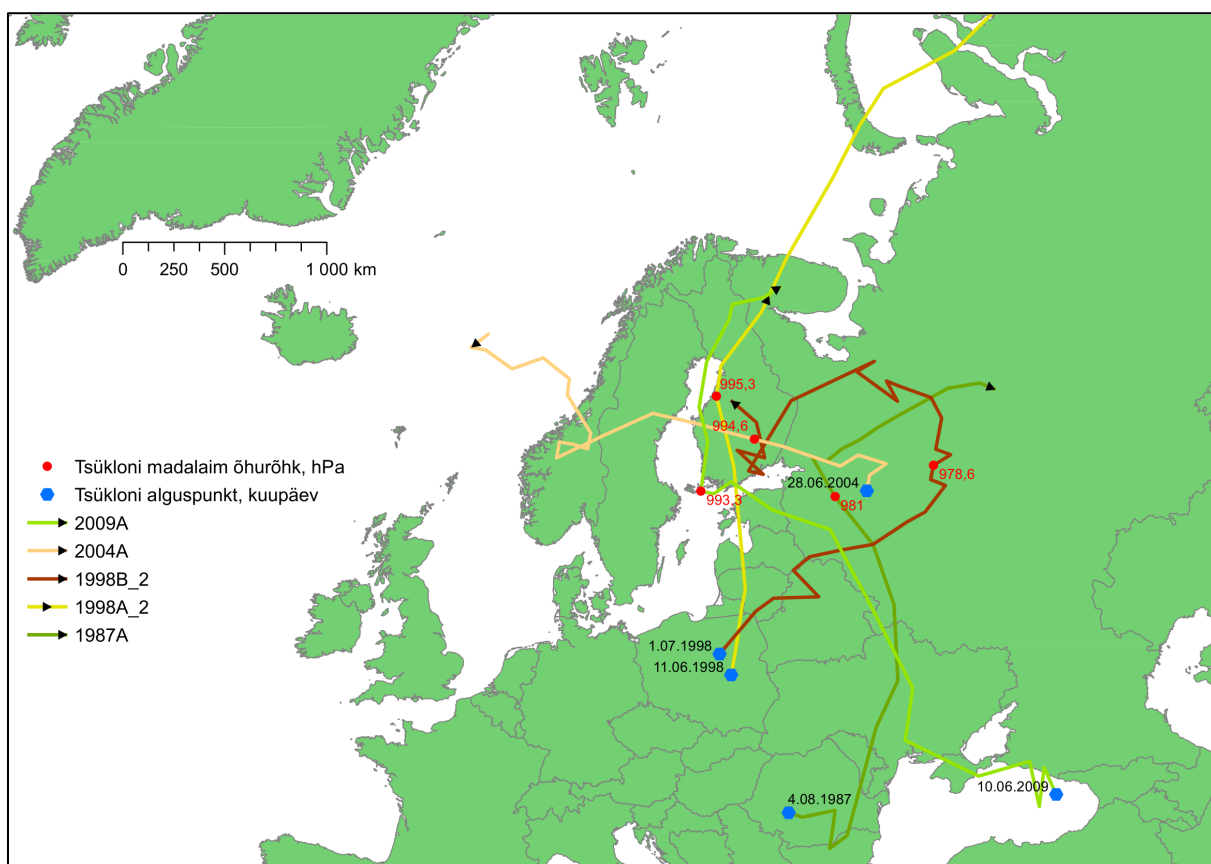
1981. aasta teine suvine tulvajuhtum leidis aset augusti lõpus ja septembri alguses, kui Musta mere äärest saabus Eesti piirkonda lõunatsüklon (joonis 22, 1981B), mis püsis mõned päevad Balti riikide kohal. Tsüklon tõi kaasa nädala pikkuse sademete rohke perioodi, mis kulmineerus 28.08 paduvihmadega. Kõige tugevamad vihmahood olid Jõhvis, kus ööpäevane sademete summa oli 32,9 mm (joonis 26).

Kõige suuremad äravoolud jäid Põhja-Eestisse ja Pärnu jõgikonna aladele. Antud juhtum oli üks vähestest, kus äravool kerkis märgatavalt Saaremaal asuvas Uue-Lõve jaamas. Enamasti jäid äravoolude tipud 30.08–1.09 kanti. Aeglasem äravoolu tõus oli Vihterpalus, kus äravool kerkib seitse päeva järjest (27.08–3.09, max 34 l/s*km²; joonis 26). Paljuski on tipud võrreldes mitmete teiste juhtumitega tagasihoidlikud. Esile kerkib Pudisoo, kus tipu hetkel mõõdeti äravooluks 57,9 l/s*km² (joonis 26).



Joonis 26. 1981. aasta augusti-septembri tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

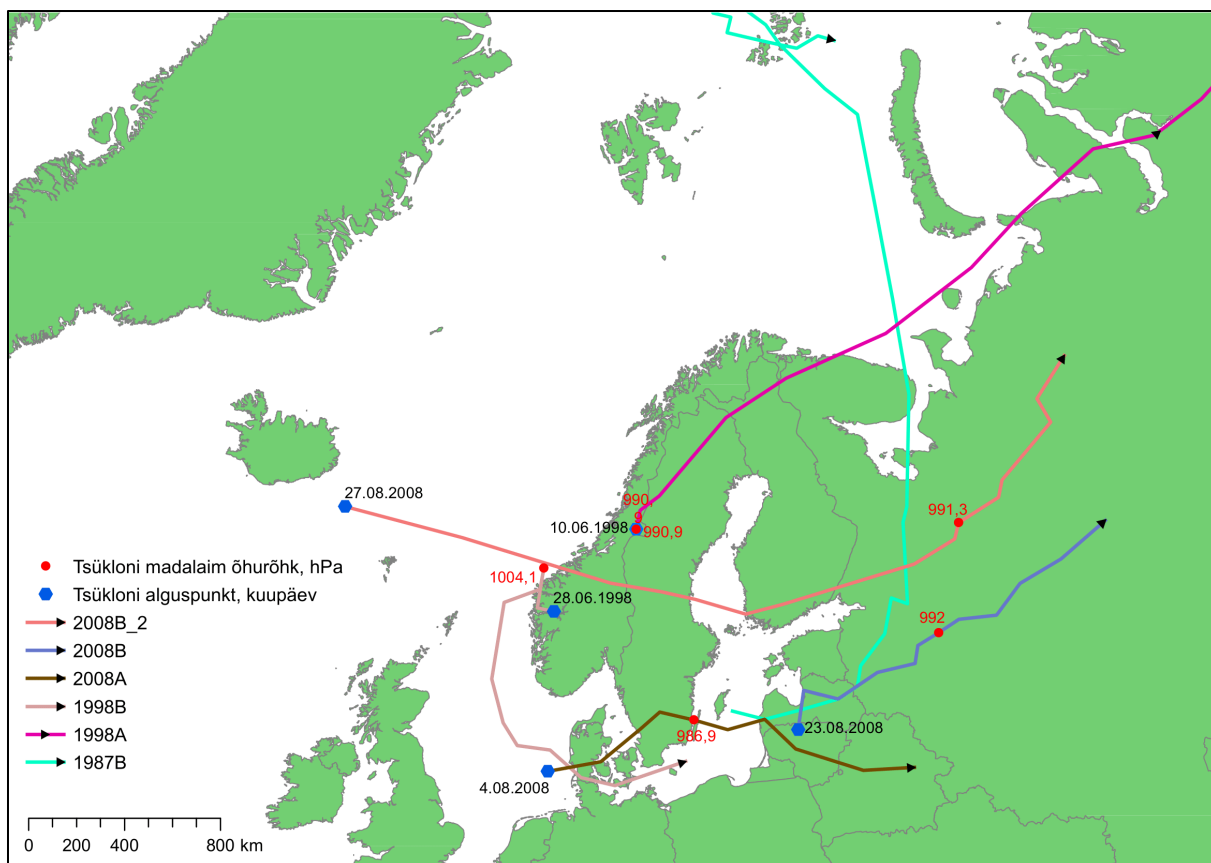
3.1.3 Kolmas vahemik: 1985–2015



Joonis 27. Suviseid tulvasid põhjustanud lõunatsüklonid (ja Rõbinski tsüklon) ajavahemikul 1987–2009.

Alates 1987. aasta juhtumitest lisandub juurde veel üheksa hüdromeetriaama andmed (kokku 36), mis enamasti asuvad Kesk- ja Põhja-Eestis. Sellel ajavahemikul on kokku viis suuremate tulvajuhtumitega aastat – 1987, 1998, 2004, 2008 ja 2009. Mainitud aastate jooksul tuvastati kokku kaheksa juhtumit.

Joonised 27 ja 28 annavad ülevaate vahemikul 1987–2009 tulvajuhtumitega seotud tsüklonitest, mis Eestisse saabudes tõid kaasa tugevamaid sajuhooge.

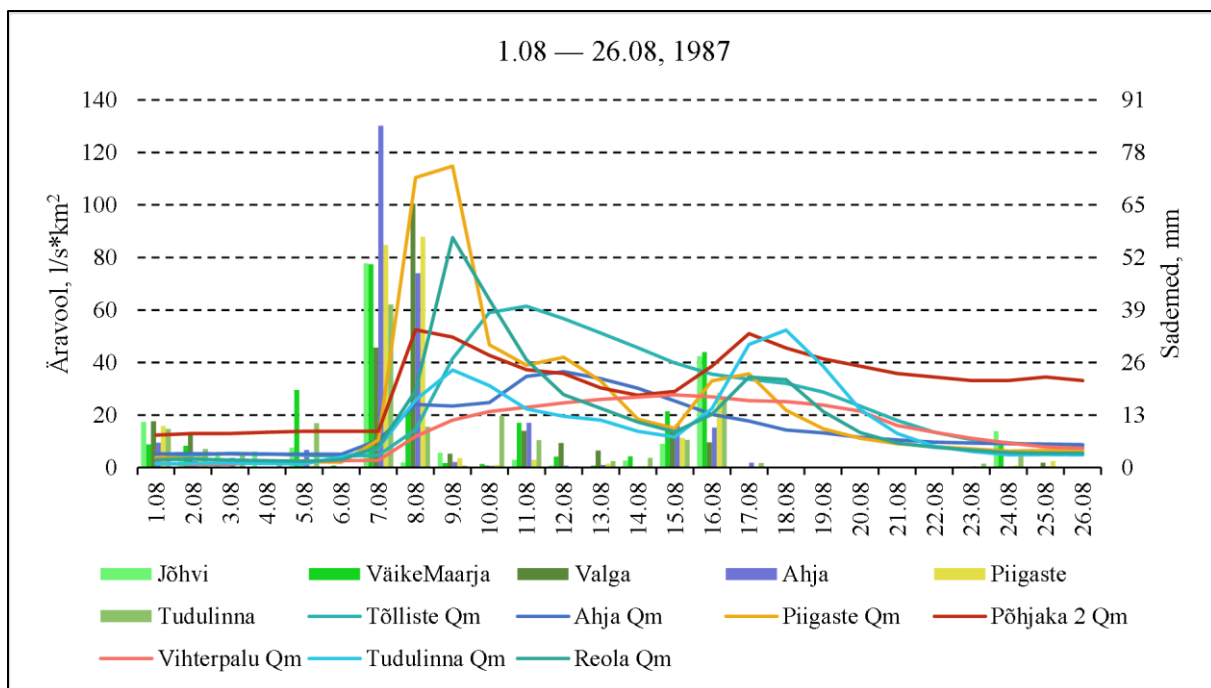


Joonis 28. Suviseid tulvasid põhjustanud läänetsüklonid ajavahemikul 1987–2008.

1987. aasta

1987. aastal toimus kaks tulvajuhtumit, mõlemad augustis. Lõunatsüklon tõi Kagu-Eestisse erakordselt tugevad paduvihmad 7.08–8.08 (joonis 27, 1987A), kus kahe ööpäeva sademete summad jäid 130–150 mm vahele (Tammets, 2012). Mõned näited ööpäevastest sademete summadest 7.08: Ahja – 84,8 mm; Mehikoorma – 90,9 mm; Haanja – 83,2 mm.

1987. aasta augusti tulemustest nähtub kaks olulisemat kulgu. Augusti esimene tulv oli valdavalt Kagu-Eestis, kuna seal olid sademete summad kõige suuremad, vähemal määral kasvas äravool mujal Eestis. Kõige suuremad äravoolud mõõdeti Piigastel ja Reolas, vastavalt 114,8 ja 87,6 l/s*km² (joonis 29). Joonisel 29 näha, et kuigi Ahja 7.08 sademete summa on üle 80 mm, siis äravool väga kiiret ning suurt tõusu ei tee, kui võrrelda Reola või Piigastega. Huvitava asjaoluna võib välja tuua selle, et Põhjaka 1 jaamas tõusis äravool kahe päeva (7.08–8.08) jooksul 2,2 l/s*km²-lt 6,2 l/s*km²-ni, kuid Põhjaka 2 jaamas olid vastavad näitajad 13,8 l/s*km² ja 52,4 l/s*km² ning kahe jaama vaheline kaugus on alla kilomeetri. Samas tuleb mainida, et nende valgalade vahe on peaaegu 30-kordne (Põhjaka 1 – 215 km², Põhjaka 2 – 7,25 km²), mis näitab nende iseloomulikku erinevust.

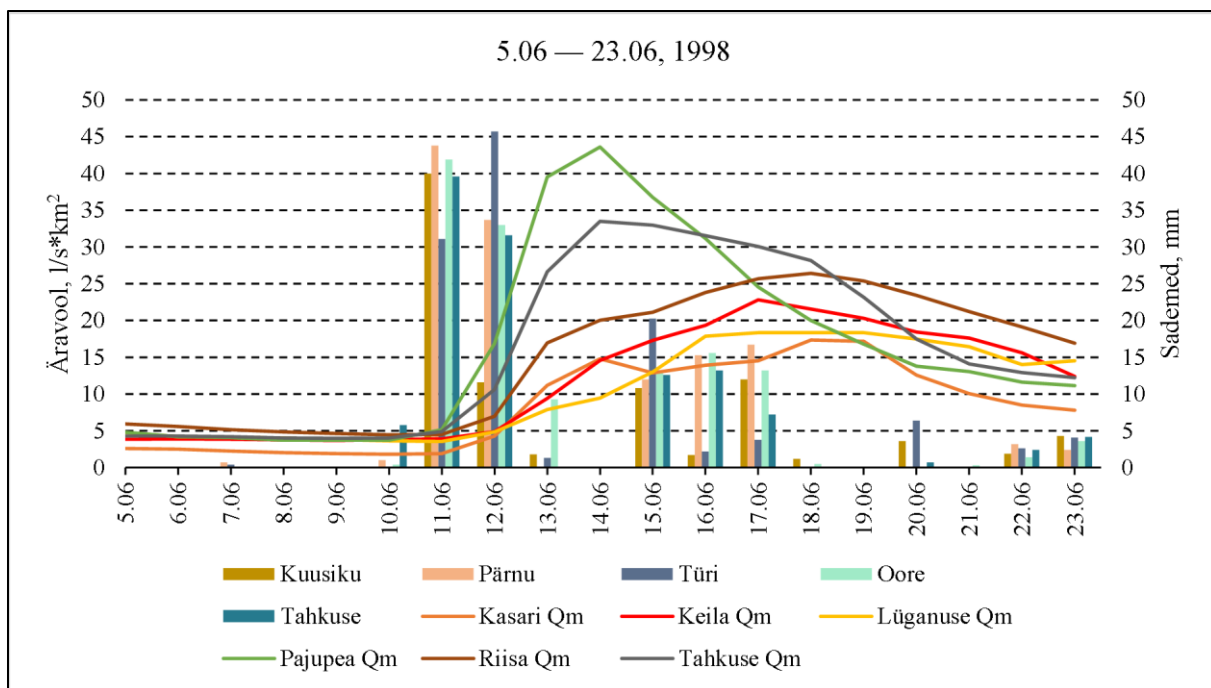


Joonis 29. 1987. aasta augustikuu tulvad Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

Augusti teine tulv, mille põhjustas Läänemere kohal arenema hakanud kohalik tsüklon (joonis 28, 1987B), jääb märksa tagasihoidlikumaks, kuna sademeid mõõdeti ka oluliselt vähem. Omapärase äravoolujoonega kulgeb Vihterpalu jaam, kus peale esimesi sajuhooge oli äravoolu tõus aeglane ning peale 16.08 sajuhooge äravool hoopis langes (joonis 29). Samas 16.08 sajuhood olid oluliselt 7.08 paduvihmadest nõrgemad. Suuremad äravoolu tõusud jäid Tudulinna ja Põhjaka 2 jaama, kus tipud ületasid 50 l/s*km^2 (joonis 29). Välja võib tuua ka Uue-Lõve, kus äravool 15.08–16.08 vahel tegi lühikese ning suhteliselt kiire tõusu.

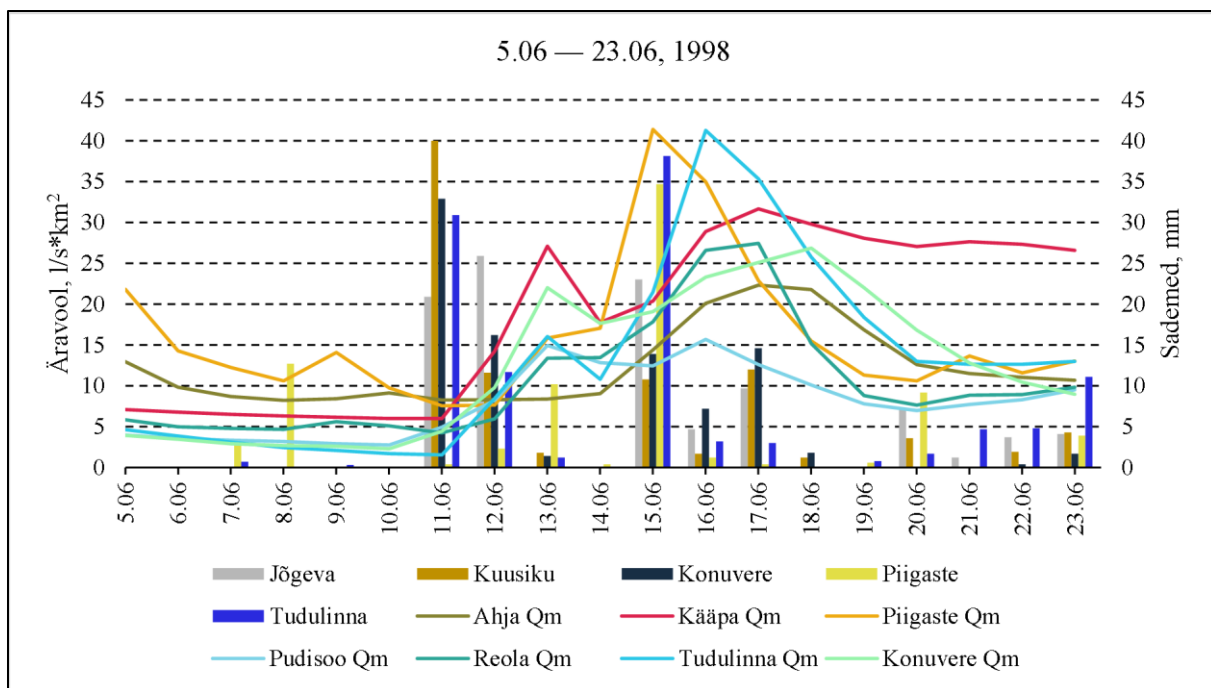
1998. aasta

1998. aasta esimene juhtum jäi juuni keskpaika, mil põhjast möödus läänetsüklon (Rootsi, Soome, Norra) ning paar päeva hiljem jõudis Eestisse lõunatsüklon, mis liikus üle Lääne-Eesti (joonis 27, 1998A_2; joonis 28, 1998A). Mõlemad tsüklonid tõid kaasa suuremaid sajuhooge, esimene tuli 11.06–12.06, teine 15.06–17.06 (joonised 30a, 30b).



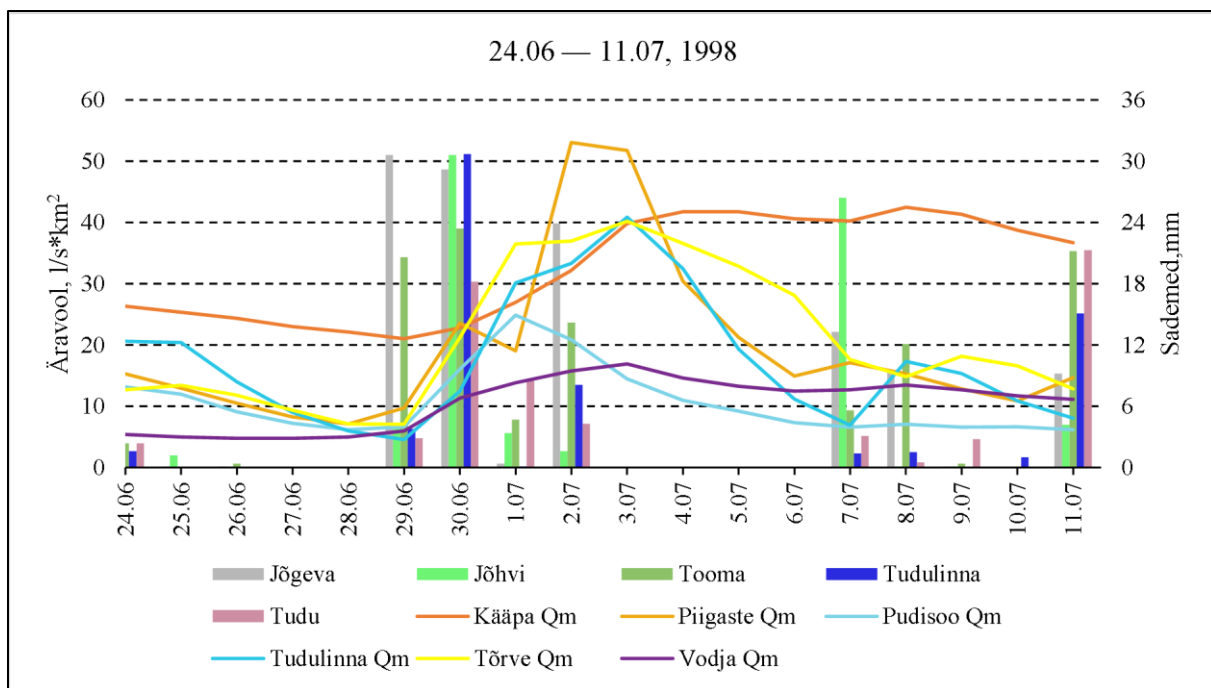
Joonis 30a. 1998. aasta juunikuu tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

Sajuhood olid kogu Eestis küllaltki tugevad ning äravoolu väärtused tõusid enamuses jaamades oluliselt, kuid tipud väga kõrged polnud. Suurimad äravoolud olid Püdisoo (max Qm 43,5 l/s*km²) ja Tahkuse (max Qm 33,5 l/s*km²) jaamas (joonis 30a). Jaamades, kus analüüsi ajavahemik algab 1960. aastast, tekib kaks selget gruppi. Ühte gruppi kuuluvad jaamad, kus äravoolukõver sajuhoogude järgselt teeb kiirema tõusu, selles grupis on näiteks Piigaste ja Tudulinna jaam (joonis 30b). Teises grupis on need jaamad, kus äravoolukõver oli aeglasema ja madalama tõusuga, näiteks Püdisoos ja Ahjal. Sarnase grupeerimise reeglit saab rakendada ka jaamades, kus analüüsi aegrida algab 1985. aastast. Olulisema tõusuga jaamad jäävad taaskord Kagu-Eestisse, aga ka Pärnu ülemjooksule ning Kirde-Eestisse (Roostoja). Huvitava tähelepanekuna võib välja tuua, et 12.06.1998 mõõdeti Kääpa jaamas sademete summaks 136,4 mm, aga äravoolukõveras polnud näha ajaliselt olulisemalt kiiremat tõusu kui teistes Eesti jaamades, aga tipp oli enne 15.06 paduvihmasid joonisel 30b olevatest jaamadest kõrgeim.

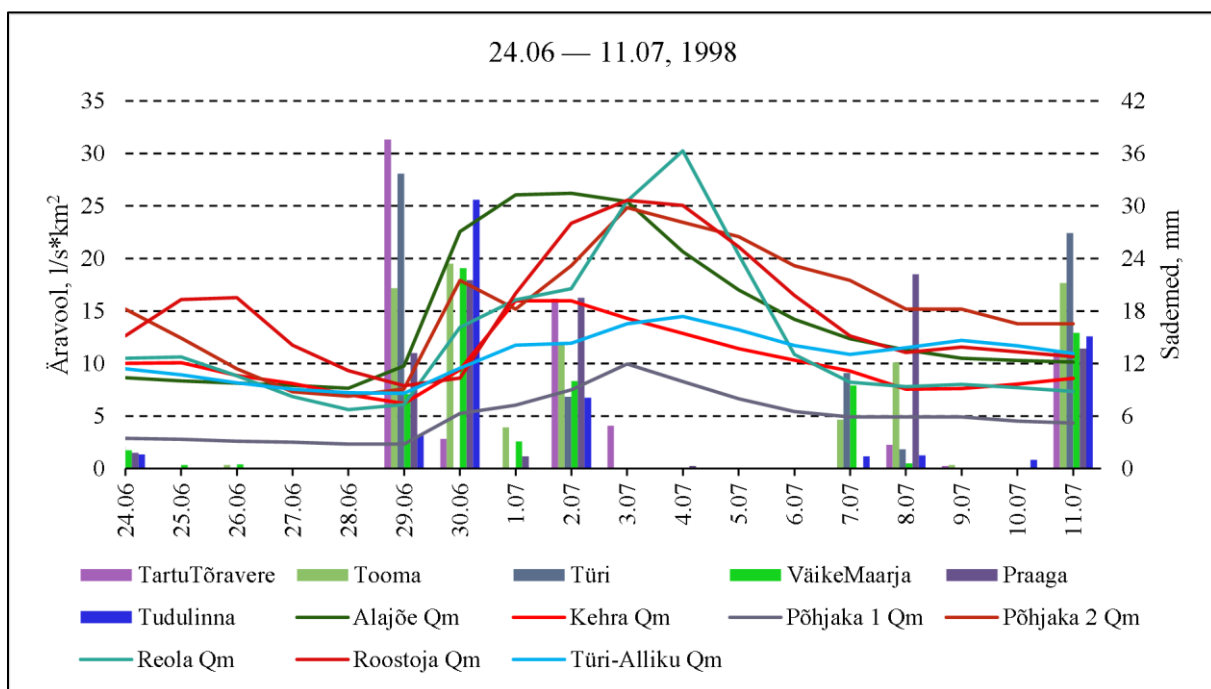


Joonis 30b. 1998. aasta juunikuu tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

1998. aasta teine suvine tulv leidis aset mõni nädal hiljem, jäädes juuni lõppu ning juuli algusesse. Tulva soodustav ilmastik oli üsna sarnane, mis 1998. aasta esimesele juhtumile. Lõuna- ja läänetsükloni mõjul jõudsid Eestisse sajuhood (joonis 28, 1998B; joonis 27; 1998B_2), mis jäid küll juuni keskpaigaga võrreldes tagasihoidlikemaks. Eriti teravalt kerkib esile Tõrve jaam, kus äravool oli tulva jooksul läbivalt vähemalt kaks korda kõrgem kui teistes jaamades. Lisaks kerkivad esile Kagu-Eesti jaamad Kääpa ja Piigaste ning Põhja-Eestis Tudulinna. Ida-Eestis on kõrgema tipuga tulvad Roostoja, Alajõe ja Reola jaamas (joonised 31a, 31b). Märkatav tõus oli ka Põhjaka 2 jaamas, kuid lähedal asuvates Türi-Alliku ning Põhjaka 1 jaamas nii ei läinud (joonis 31b).



Joonis 31a. 1998. aasta juuni-juuli tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

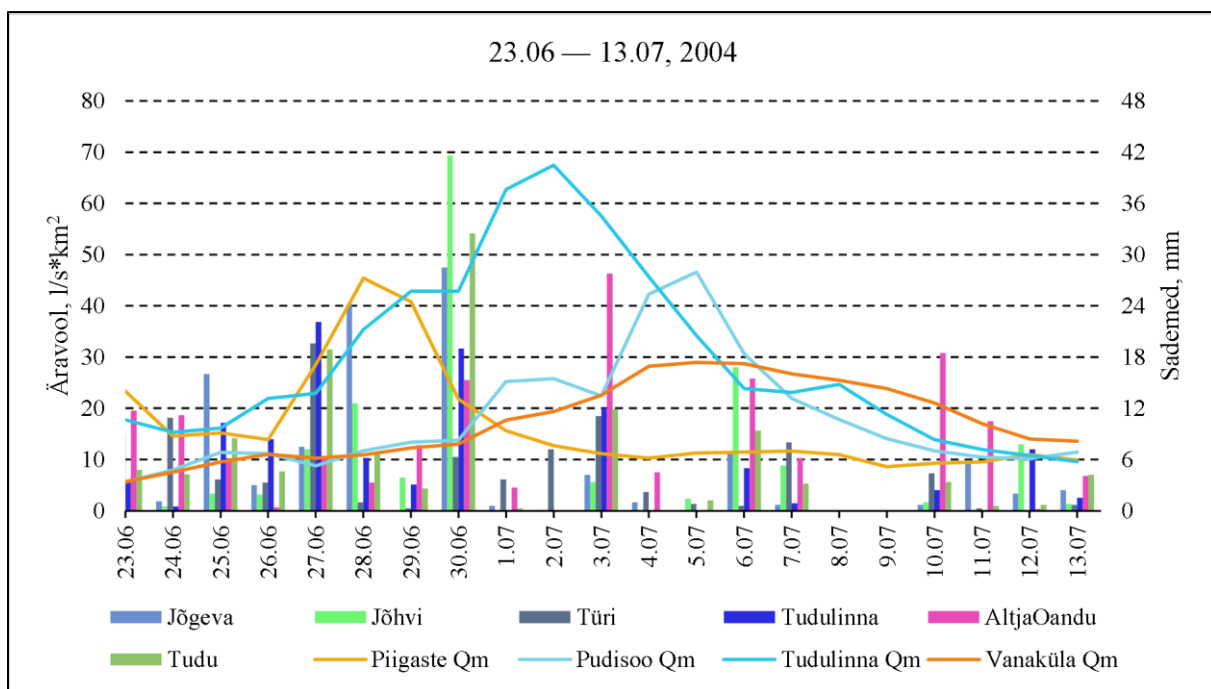


Joonis 31b. 1998. aasta juuni-juuli tulv. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

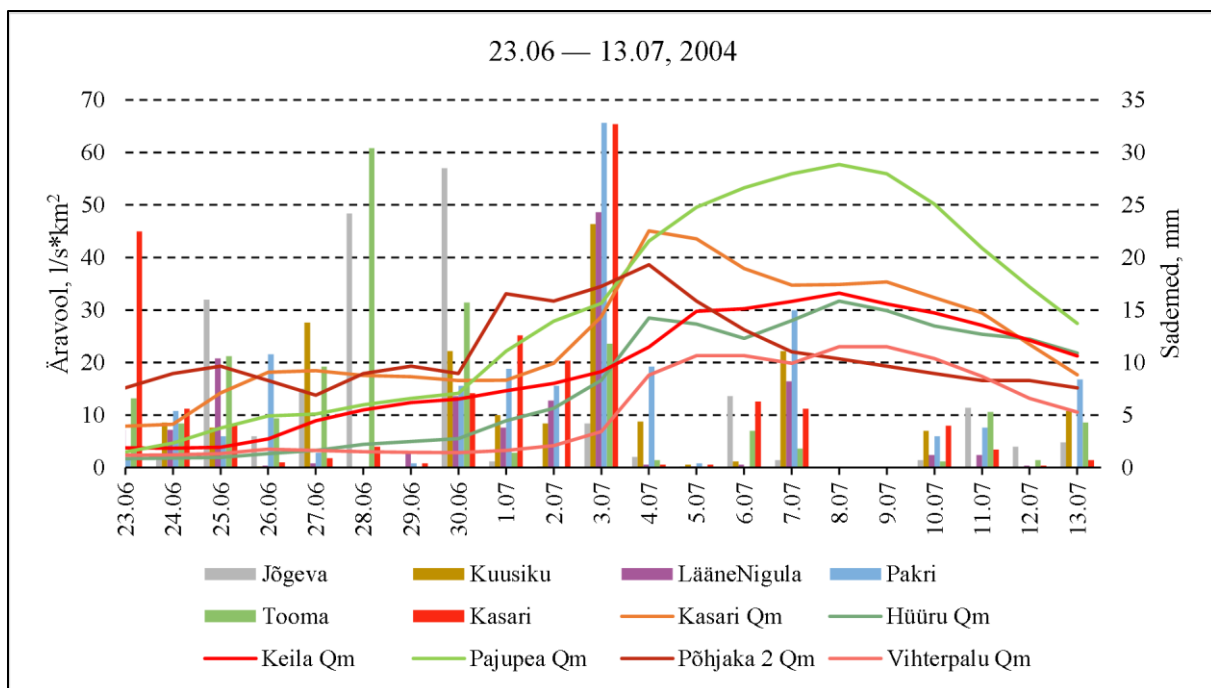
2004. aasta

2004. aasta tulvajuhtum jääb juulikuusse, kui Venemaal, Rõbinski veehoidla kohal arenes tsüklon, mille kese möödus Eestist põhjast. (joonis 27; 2004A). Tsüklon tõi kaasa sajuhood,

mis tabasid tugevamalt Põhja-Eestit. Kõige kõrgemad äravoolud mõõdeti Tudulinna, Roostoja ja Alajõe jaamas (joonis 32a). 3.07.2008 tabas Eestit teine sajuhoogude laine. Rohkem oli sademeid Lääne-Eestis, mistõttu tõusis äravool näiteks Kasaril ja Keilas (joonis 32b). Eraldi tuleb mainida antud juhtumi puhul Pajupead, kus äravoolu tõus oli aeglasem võrreldes teiste jaamadega, kuid tipp oli kõrgem (joonis 32b). Kuigi Pajupea tulva aegsed sademete andmed puuduvad, siis Tallinn-Harkus mõõdeti 3.07 summaks 36,4 mm. Kuna äravool ei tõusnud väga järsult, siis võib arvata, et sajuhood polnud väga intensiivsed, kuid ülesvoolu jäävatel aladel võis sadu tugevam olla.



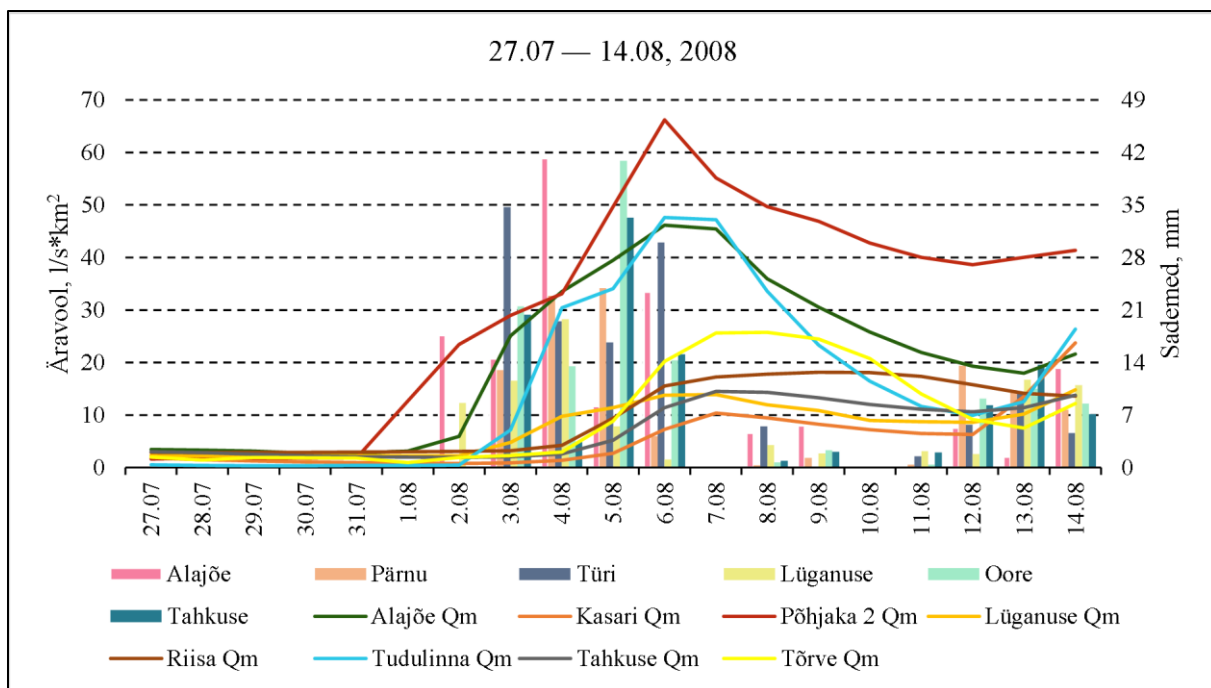
Joonis 32a. 2004. aasta juuni-juuli tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.



Joonis 32b. 2004. aasta juuni-juuli tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

2008. aasta

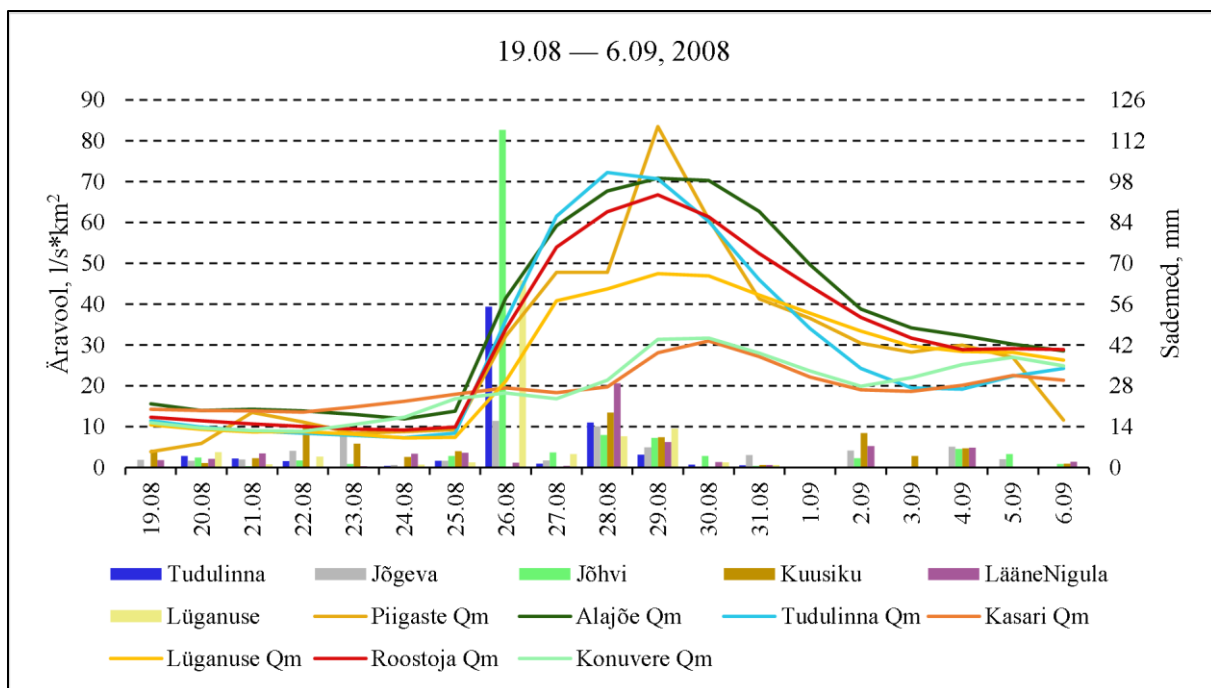
2008. aasta esimene juhtum jääb augusti algusesse, kui Eestist möödus lõunast läänetsüklon (joonis 28; 2008A), tuues kaasa mitmel päeval (3.08–6.08) paduvihmasid. Ööpäevased sademete summad olid enam kui 30 mm mitmes jaamas (joonis 33). Kõige järsum äravoolu tõus mõõdeti Põhjaka 2 jaamas, mille arvatavasti põhjustas Türi jaamas mõõdetud paduvihmad. (joonis 33). Tugevad sajuhood olid ka Tudulinna ja Alajõe kandis, kus vastavates jaamades mõõdeti ööpäevasteks sademete summadeks üle 40 mm. Paduvihmade tulemusel tõusid kahes eelnevalt mainitud jaamas äravoolud paari päevaga üle 40 l/s*km²-le (joonis 33). Teistes Eesti paikades jäid äravoolude tõusud tagasihoidlikemaks, olles tipu ajal alla 30 l/s*km².



Joonis 33. 2008. aasta augusti alguse tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

2008. aasta teine suvine tulv oli üsna erinev esimesest. Antud juhtumi puhul on tegemist augusti lõpu-septembri alguse tulvaga, mis kaasnes kohaliku arenguga läänetsüklonist (joonis 28, 2008B). Eriti tugevad paduvihmad olid 26.08, kui Jõhvis mõõdeti sademete summaks 115,7 mm. Samal päeval mõõdeti üle 50 mm ka näiteks Lüganuse (joonis 34), Alajõe ja Tudulinna jaamas.

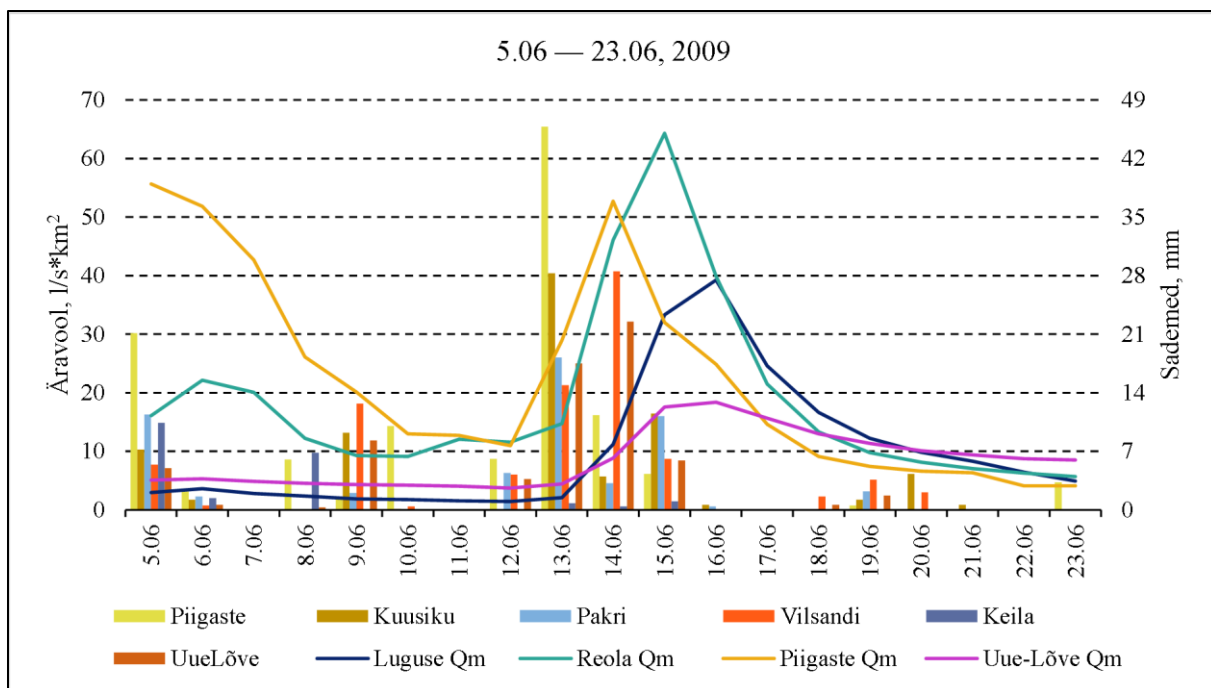
Ida-Viru tugevate paduvihmade tõttu tõusid äravoolud järsult. Kui 25.08 olid Roostoja, Alajõe ja Tudulinna äravoolud 10–15 l/s*km², siis kolm päeva hiljem (28.08) mõõdeti eelpool mainitud jaamades üle 60 l/s*km² (joonis 34). Kuigi Lüganuse 26.08 sademete summaks mõõdeti üle 60 mm, siis äravoolu tõus polnud sama järsk võrreldes teiste uuritavate Ida-Viru jaamadega. Ülejäänud Eestis olid äravoolud madalamad, jäädes alla 50 l/s*km², välja arvatud Piigastel, kus äravool tõusis 83,5 l/s*km-ni ning sademete summaks mõõdeti 32,9 mm. Väiksematest tulvadest on joonisel 34 näitena välja toodud Kasari ja Konuvere mõõtmised.



Joonis 34. 2008. aasta augusti lõpu tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

2009. aasta

Viimane juhtum jääb 2009. aasta juuni keskpaika. Musta mere kohal tekkis lõunatsüklon, mis liikus üle Eesti kagust loodesse, tuues kaasa tugevamaid sajuhooge (joonis 27, 2009A). Kõige kõrgemad sademete summad olid 13.06, mil Piigastes mõõdeti 45,8 mm (joonis 35). Samal kuupäeval mõõdeti üle 40 mm ka Rannu-Jõesuus, Toomal ja Sörvel. Äravoolud tõusid vähestes jaamades üle 30 l/s*km² (Reolas 64 l/s*km², Piigastel 52,7 l/s*km², joonis 35). Antud juhtumi puhul saab välja tuua ka huvitava ning harva esineva tulemuse, kus mõlemad Lääne-Eesti saartel asuvate jaamade (Luguse ja Uue-Lõve) äravoolud tõusid märgatavalt. Tulva tipud jäid valdavalt 14.06–16.06 vahele. Joonisel 35 nähtub, et Piigaste jaamas oli juuni alguses tulv. Käesoleva töö kontekstis on oluline ära märkida, et juuni alguse tulvajuhtum esines vähestes jaamades, mistõttu polnud tegemist olulise juhtumiga.



Joonis 35. 2009. aasta tulv Eesti jõgedel. Joontega on näidatud ööpäevaseid keskmisi äravoolumooduleid. Tulpadega on näidatud ööpäevaseid sademete summasid.

3.2 Tulvade aegsed tsüklonid Eesti piirkonnas

Aastatel 1935–1947 kasutati Wetterzentrale koduleheküljelt pärit ilmapilte, mille alusel leiti need tsüklonid, mis olid tulvadega seotud enne 1948. aastat. Alates 1948. aastast oli kasutada tsüklonite keskmete trajektoore andmestikku, mille abil sai teada alguspunkti, liikumissuuna ja madalaima õhurõhu ning kuidas need tsüklonid Eesti suhtes asetsesid. Ilmapiltide abil tuvastati üheksa tsüklonit ning trajektoore andmestikuga leiti 24 tsüklonit, mis Eestis tulvasid põhjustasid.

Paduvihmasid kaasa toonud ning tulvajuhtumeid põhjustanud tsüklonid tuuakse välja tabelis 5. Kõige enam oli läänetsükloneid, kokku 16, lõunatsükloneid 15 ning kaks said alguse Rõbinski veehoidla piirkonnas. Tabelis 5 tuuakse välja madalrõhkkondade kodeeringud (tulva aasta, täht ja tsükloni number), millises piirkonnas tekkis ning kuidas liikus kese Eesti suhtes. Alates 1948. aasta tulvajuhtumitega seotud tsüklonite puhul on lisatud ka madalaim õhurõhk hektopaskalites.

Tabel 5. Tsüklonite kodeeringud vastavalt aastale ja juhtumile. Viimases veerus antud madalrõhkkonna keskme madalaim õhurõhu väärtus tsükloni eluaja jooksul.

Kodeering	Tekkepiirkond	Keskme möödumise suund Eestist	Õhurõhk, hPa
1935A	Baleaarid (Vahemeri)	suundub Eestisse edelast	-
1942A	Briti saared	suundub Eestisse läänest, liitub Skandinaavia kohal olevaga	-
1943A	Põhjameri	loodest	-
1943A_2	Must meri	püsib Eestist lõunas	-
1943B	Kanada	põhjast	-
1943B_2	Läänemeri	algfaasis Eestis, suundub põhja	-
1943B_3	Iirimaa	põhjast	-
1944A	Labradori meri	põhjast	-
1944B	Rõbinski veehoidla	idast	-
1948A	Ukraina/Must meri	jääb Poola kohale püsima	988,1
1949A	Bulgaaria/Must meri	kese saabub Eestisse põhjast, enne möödub idast	984,3
1961A	Türgi/Must meri	idast	973,5
1962A	Venemaa/Must meri	idast	998
1962A_2	Ukraina/Must meri	idast	993,1
1962B	Rootsi/Läänemeri	põhjast	989,2
1962B_2	Gröönimaa	põhjast	982,9
1978A	Aadria meri	idast	996,7
1978B	Baleaarid	lõunast	989
1981A	Iirimaa	üle Põhja-Eesti	992,4
1981A_2	Norra/Põhjameri	üle Lääne-Eesti	995,1
1981A_3	Korsika	üle Lääne-Eesti	994,5
1981B	Ukraina/Must meri	möödub idast, seejärel püsib Baltimaade kohal	989,7
1987A	Rumeenia	idast	981
1987B	Läänemeri	lõunast ja idast	997,4
1998A	Norra/Põhjameri	põhjast	990,9
1998A_2	Poola	üle Lääne-Eesti	995,3

Tabel 5 (järg).

Kodeering	Tekkepiirkond	Keskme mööndumise suund Eestist	Õhurõhk, hPa
1998B	Põhjameri	hääbub Läänemeres	1004,1
1998B_2	Poola	idast, hiljem läheneb põhjast	978,6
2004A	Rõbinski veehoidla	põhjast	994,6
2008A	Põhjameri	lõunast	986,9
2008B	Leedu/Läänemeri	lõunast	992
2008B_2	Island	põhjast	991,3
2009A	Must meri	üle Eesti kagust loodesse	993,3

Läänetsüklonite puhul ei tule välja ühte piirkonda, kust valdavalt need alguse saavad. Küll võib välja tuua, et enim läänest saabuval madalrõhkkondil on saanud alguse Põhjameri kohal, neid on kokku viis. Kaugemalt tulevaid (Island, Gröönimaa, Kanada) on kokku neli, sama palju on ka kohaliku arenguga ehk Läänemere kohal alguse saanud madalrõhkkondi, mis käesoleva töö kontekstis on arvatud läänetsükloniteks. Kaheksa ehk pooled läänest saabuvat madalrõhkkonda mööduvad Eestist põhja suunalt. Ülejäänutest neli ületasid Eestist, jäädes lääne- või põhjaossa. Teised möödusid kas loodest, lõunast või idast, üks tsüklon hääbus Läänemeres.

Lõunatsüklonite korral selgub, et enamus saabuvad Eestisse Musta mere piirkonnast, kust sai alguse kaheksa tsüklonit, kuid neid võib olla rohkemgi, kuna kahel juhul leiti esimene punkt Poolast ja üks Rumeeniast. Samas ei saa kindlalt öelda, et need madalrõhkkonnad said alguse Musta merest, eriti Poola puhul, mis ei piirne Musta merega, erinevalt Rumeeniast. Ülejäänud neli lõunatsüklonid saabusid Eesti piirkonda Vahemerelt (Korsika, Baleaarid ja Aadria).

Lisaks on Kaupo Mändla (2014) oma doktoritöös lõunatsüklonite kohta kirjutanud, et 2/3 lõunatsüklonitest möödub Eestist ida poolt. Käesolevas töös möödus idast kaheksa lõunatsüklonit 14st, mis on vähem kui 2/3, kuid ei saa järeldada, et tegemist oleks anomaaliaga, kuna käesolevas töös on tulvadega seotud tsükloneid liiga vähe. Kuus madalrõhkkonda ületasid Eestit, nende hulgas on ka kaks tsüklonit, mis möödusid enne idast.

Kui võrrelda õhurõhke, siis tabelist 5 nähtub, et kõige väiksem näit oli 1961. aasta tulvajuhtumiga seotud tsükloni keskmes (1961A), olles üks kahest, kus õhurõhk langes alla 980 hPa, teine selline oli seotud 1998. aasta juuni-juuli tulvajuhtumiga (1998B_2). Samast tabelist selgub ka, et ühe tsükloni keskme õhurõhk ei langenud alla 1000 hPa, olles seotud eelnevalt

mainitud 1998. aasta juhtumiga. Laiemas pildis tulvadega seotud tsüklonite puhul on kokku 10 sellist madalaimat punkti, kus õhurõhk langes alla 990 hPa, neist seitse olid lõunasuunalised.

4. ARUTELU JA JÄRELDUSED

Hüdrometriaajaamade grupeerimine andmete olemasolu alusel, kasutamaks ära rohkem andmeid ja leidmaks rohkem tulva- ja suurveejuhtumeid, pigem õigustas ennast. Antud järelduse saab teha, kuna jaamad on avatud väga erineval ajal, mistõttu ühe konsensusliku algusaasta leidmine võinuks mitu juhtumit tööst välja jätta. Kui näiteks võtta algusaastaks 1948, mil sademete andmeid on saadaval märksa rohkemates jaamades, võrreldes varasemaga, siis jäänuks kuus juhtumit tööst välja. Need juhtumid osutusid ulatuslikeks, vähemalt üheksas jaamas esines tulva, kus andmete analüüsi aegrida algas 1935. aastal.

Kui arvestada kõiki neid juhtumeid, mis esinesid samaaegselt vähemalt kahes jaamas vaadeldava ajavahemiku kohta, siis neid on kokku 67, neist suuremaid 23. Seega valitud meetodika filtreeris välja kaks kolmandikku kõikidest leitud juhtumitest, mis olid lokaalsemad ning mis halvimal juhul võivad olla vead vaatlusandmetes. Lokaalsed juhtumid annaksid küll statistikat juurde väikeste tulvade kohta, aga ka sellega kaasnevat infomüra ning käesoleva töö eesmärk oli analüüsida vaid suuremaid tulvajuhtumeid.

Selgus, et valdav enamus juhtumitest asuvad ajaliselt lähestikku ja jagunevad selgelt kolmeks perioodiks: seitse juhtumit toimus aastatel 1942–1949 ning kahel ajavahemikul (1978–1987 ja 1998–2009) oli kummalgi kuus juhtumit. Samuti leiti ka kolm sellist perioodi, kus kahe juhtumi vahele jäi vähemalt 10 aastat. Tiina Tammets (2007) analüüsis kuivade ja sajuste perioodide jaotust ajavahemikul 1957–2006. Ühe tulemusena tuuakse välja, et aastatel 1957–1977 domineerisid kuivemad ilmad ja 1978–1989 sajusemad ilmad. Tammetsa (2007) välja toodud perioodid langevad kokku käesoleva töö tulemustega, kus kõige pikem juhtumiteta ajavahemik oli 1962–1978 ning aastatel 1978–1987 esines kuus juhtumit. Perioodi 1978–1990 on mainitud kui veerohket ka Nõgese jt. (2012) töös. Sarnase analüüsi tegid ka Tammets ja Jaagus (2013), milles tuuakse välja, et aastatel 1978, 1981, 1990 ja 2008 oli Eesti keskmine sademete hulk üle 800 mm ja 1998. aasta suve keskmine sademete hulk 360 mm. Kui 1990. aasta välja arvata, siis ülejäänud neljal aastal leiti käesolevas töös kokku kaheksa tulvajuhtumit. Seega võib väita, et tulvad esinevad suurema tõenäosusega sademerikkamatel kümnenditel.

Võrreldes jõgikondade põhiselt, siis selgub, et kõige rohkem juhtumeid oli Pärnu jõgikonna, Kasari ja Lüganuse jaamades, kõige vähem Emajõe hüdrometriaajaamades, kus kahe vaadeldava jaama (Rannu-Jõesuu ja Tartu) peale oli kokku üks juhtum (1978, Tartu), mida võis pidada tulvaks käesoleva töö kontekstis. Üks olulisemaid tulemeid tulvajuhtumite ruumilisel

jaotusel on Pärnu jõgikonnas olevate hüdromeetriajaamade (Aesoo, Tahkuse, Oore) esiletõus. Samas tuleb mõnda ka fakti, et Pärnu jõgikond on Eestis mõistes suur ning tugevate sademete korral võib Pärnu jõgikond lühikese aja jooksul suurel hulgal vett saada. Lisaks on esindatud ka mitmed teised suuremad jõgikonnad. Näiteks Kasari jõgikonnas asuvate Kasari ja Konuvere jaamas analüüsiti ajavahemikul 2007–2015 tunniseid veetasemete andmeid, kus selgus, et Kasaril oli 10 ning Konuveres kaheksa tulvajuhtumit (Indres 2016). Käesolevas töös leiti sama aja jooksul üks selline juhtum (2009. aasta), mis tekkis lisaks Kasari jõgikonnale suhteliselt suurel hulgal jõgedel. Kuigi Kasari ja Pärnu jõgikondade jaamades oli kõige enam juhtumeid, siis sealsete äravoolude tõusud ning tipud jäid tagasihoidlikemaks võrreldes väiksete jõgedega. Enam kui 50 l/s/km^2 mõõdeti ainult ühe juhtumi puhul Kasaril, 1943. aasta augustis. Sarnane pilt avaneb ka teiste jaamade puhul, mille valgala on üle 1000 km^2 , välja arvatud Tõllistel, kus 50 l/s/km^2 piir ületati viie juhtumi puhul. Samas võib tulemuste põhjal väita, et Eesti tingimustes on järsumad ning kõrgema tipuga tulvad suuremates jõgedes pigem vähetõenäolised.

Küll selgub tulemustest, et väikese pindalaga valgaladel ($<300 \text{ km}^2$), eelkõige Piigaste, Tudulinna ja Pajupea jaamas, ilmneb veetõus paduvihma järgselt väga kiiresti ning tulva tipp, mis võib ulatuda ka üle 75 l/s/km^2 , saabub sagedasti kuni paar päeva peale sajuhooge. Eelmainitud jaamades leiti ka suhteliselt palju tulvasid, vastavalt 13, 11 ja 15. Lisaks saab veel välja tuua Roostoja ja Tõrva jaamad, kus mitme juhtumi puhul on näha järsku tõusu. Sarnast probleemi on varem välja toodud, et tulvad ilmnevad eelkõige väikestel jõgedel, on terava tipuga ning kestavad lühikest aega (Borga *et al.* 2008, Gaume *et al.* 2009, Tammets 2012, Gauk 2015). Seega saab väita, et Eesti tingimustes on järsud tulvad väikestes jõgedes võimalikud.

Lisaks sellele, et järsud tulvad on võimalikud, võivad äravoolud olla ka kõrged. Vaadeldava ajavahemiku jooksul tuvastati kokku kümme sellist jaama, kus äravool ületas 50 l/s/km^2 vähemalt viiel korral. Kolmes jaamas (Piigaste, Tõrva ja Pajupea) olid väärtused ka üle 100 l/s/km^2 , neist kõrgeim oli Piigaste, kus kahel korral Q_{\max} tulva tipu hetkel ulatus 127 l/s/km^2 . Ühtlasi on kõrgemad äravoolud pigem väiksemates jõgedes, kuigi välja saab tuua ka mõnevõrra suurema valgalaga jaamu nagu Lügane ja Tõlliste, kus tulva tipp oli kõrge, kuid need jäävad mitme aastakümne kaugusele. Suvistest kõrgetest äravooludest on kirjutatud ka hüdroloogilistes aastaraamatutes. 1998. aastal ületasid mitmed jaamad kevadist äravoolu, nende hulgas ka käesolevas töös olevad, näiteks Pudiõ ja Pajupea jaamad. 2004. aasta puhul tuuakse välja Tagajõgi, Rannapungerja ja Alajõgi, mis jäid silma märgatavalt tõusva äravooluga, ületades pikaajalist keskmist. 2008. aasta augusti lõpus Kirde-Eestit tabanud ekstreemsed

vihmad tõid sealsetes jaamades kevadisest tasemest kõrgemad äravoolud ning 2009. aasta juunis olid samuti äikesevihmad tulva põhjuseks ja äravoolud ületasid pikaajalist juunikuu keskmist, kuid mitte kevadist taset (EMHI 1999, EHMI 2005, EMHI 2009, EHMI 2010). Samuti ületasid kevadist äravoolu või olid selle lähedal ka 1987. aasta tulvajuhtumi ajal mitmed jaamad – Tõlliste, Piigaste, Reola, Luguse ja Tudulinna. Kuna käesoleva töö eesmärgiks polnud võrrelda tulvade aegseid äravoolu kevadiste suurvetega, siis ei saa järeldada, et tulvade aegsete äravoolu oleksid kevadistest kõrgemad, aga töö käigus leitud tulemused ning aastaraamatud vihjavad sellele, et sellised tulvad on võimalikud, kus äravool ületab kevadist taset.

Kui aga vaadata tulvade aegseid sademeid, eriti paduvihmasid, siis selliseid ööpäevi, kus vähemalt kümnes jaamas mõõdeti 30 mm/24h, on kogu ajavahemiku peale 14, neist 13 tekitasid käesolevas töö kontekstis tulvajuhtumi või andsid juba alanud tulvale lisajõudu. Erandiks on 29.08.1987, kui 21 jaamas mõõdeti ööpäevaseks sademete summaks vähemalt 30 mm, kuid äravoolumoodul tegi järsu tõusu vaid viies vaadeldavas hüdromeetriaajas. Sarnane on olukord ka juhul, kui vaadata neid päevi, kus vähemalt kahes jaamas mõõdeti üle 50 mm sademeid. Selliseid päevi oli kokku üheksa, neist kaheksas järgnes ka suurem tulv ning erandiks on taas 29.08.1987. Üldisemalt vaadates, siis iga juhtumiga saab siduda vähemalt ühe sellise päeva, kus enne tulva mõõdeti mitmes jaamas üle 30 mm sademeid, mis viitab, et tugevamad paduvihmad on tulva tekkimise eelduseks ka Eesti tingimustes.

Vaadates andmeid jaama kaupa ehk kui mitu paduvihma päeva (>30 mm/24h) oli terve ajavahemiku vältel ning palju neist olid osalised suurema tulva tekitamises, siis kõige enam paduvihmade päevi (66) oli Tudulinna jaamas, kuid vaid 10 neist on seostatav suurema tulvaga. Kõige vähem esines ägedaid sadusid Pranglis, kus oli kuus paduvihma päeva, neist kaks olid tulvajuhtumite aegsed. Kõige rohkem tulvaaegseid paduvihma päevi oli Türi jaamas, kokku 18. Antud statistika puhul tuleb mainida, et paduvihmade päevade arv sõltub sellest, kui palju on erinevates jaamades andmeid kogutud (Mätlik, Post 2008). Kuigi paduvihmadega päevade arv kõigub jaamati palju, siis saab üheselt järeldada, et tulvasid põhjustavad sademed saavad alguse kas juhtumi esimesel päeval või kuni kaks ööpäeva enne tulva algust.

Praeguses töös selgus, et iga juhtumi puhul oli vähemalt üks tsüklon, mida sai seostada tulvasid põhjustanud paduvihmadega. Viie juhtumi puhul oli kaks tsüklonit juhtumi kohta ning kahe juhtumi puhul kolm tsüklonit, mis sajuhooge Eestisse tõid. Kui vaadata tsüklonite päritolu, siis selgus, et 16 tsüklonit (11 juhtumiga) olid läänesuunalised, nende hulgas ka kohaliku Läänemere päritoluga. Teoreetiliselt võib oletada, et viimased on Atlandi omadest eraldunud ja moodustanud iseseisva osatsükloni. Seda näitavad ka töö käigus analüüsitud ajaloolised

ilmakaardid. Küll ei tule see välja tsüklonite keskmete andmebaasist, kas Läänemere tsükloni näol on tegemist suurema madalrõhkkonna osatsükloniga. Samas on varasemates töödes välja toodud, et osatsüklonite mõju kohalikule kliimale on sarnane „originaalsete“ madalrõhkkondadega (Sepp 2009, Sepp *et al.* 2018). Kahe tsükloni puhul võib eeldada, et need tekkisid Loode-Venemaal, Rõbinski veehoidla kohal, kuna nende esimene punkt keskmete andmebaasis (Tilinina *et al.* 2013) oli eeldatavasti liiga kaugel Musta merest või Vahemerest, et lõunatsükloni kese kuue tunniga Loode-Venemaale jõuaks. 15 tsüklonit (10 juhtumit) olid lõunatsüklonid, saades valdavalt alguse Musta mere või Vahemere kohal. Mätlik ja Post (2008) samuti leidsid, et lõunatsüklonid, mis tõid Eestisse ekstreemsademeid, moodustusi valdavalt Vahemere või Musta mere kohal. Kui võrrelda näiteks sooja poolaasta tsüklonitega, siis 19% neist on lõunasuunalised, suvel võib see olla ka kuni 26%, kuid aasta lõikes on lõunatsüklonite osatähtsus 13%. Samas on leitud, et ajavahemikul 1961–2005 olid veerand kuni pooled tsüklonite põhjustatud paduvihmade päevad lõunasuunalised, mis on sarnane käesolevas töös leitud (Mätlik, Post 2008, Tammets 2012). Lisaks annavad tsüklonitega seotud tulemused märku, et tulvajuhtumitega seotud madalrõhkkonnad on üsna sügavad, kuna ainult ühel juhul oli madalaim õhurõhk üle 1000 hPa. Seda lävendit kui suhteliselt sügava tsükloni määratlejat on kasutatud ka varasemates töödes (Sepp 2009, Mändla 2014, Sepp *et al.* 2018).

5. KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida, millised suvised tulvajuhtumid leidsid aset Eestis ajavahemikul 1935–2015. Lisaks sellele oli selgitada välja, kui paljudes jaamades tulvajuhtum leiti ning millised tsüklonid tulva põhjustasid. Oluline aspekt tulvajuhtumite juures oli ka tsüklonite iseloom, sademete hulk ja kui suurt osa Eestist konkreetne juhtum puudutas. Eelduste põhjal võib väita, et vastas järgmistele küsimustele:

1. Selgitada välja, millised on Eesti jõgede tulvad ning millised on nende peamised parameetrid.
2. Uurida ajalis-ruumilist dünaamikat – millistes jõgedes ilmneb padusaju korral tulv varem, millistes hiljem ning millal oli tulva tipp samaaegsuse kontekstis.
3. Millised on hüdrometeoroloogilised tingimused ning Eesti jõgedel tulvasid tekitavate madalrõhkkondade päritolu ja trajektoor.

Käesolevas töös uuriti Eesti jõgede aset leidnud suuremaid suviseid tulvajuhtumeid ajavahemikul 1935–2015, mis tekkisid paduvihmade tulemusel. Uurimuses kasutati 36 hüdromeetriaajaamade ööpäevaste keskmiste vooluhulkade andmeid. Lisaks kasutati veel 94 mõõtejaama ööpäevaseid sademete summade andmeid ajavahemikul 1935–2015, tsükloni trajektooride andmebaasi (1948–2012) ja Wetterzentrale kodulehelt pärit ilmakaartide pilte ajavahemikul 1935–1947. Tulvade leidmise ja ulatuse määramise meetodina kasutati äravoolumooduleid, et muuta jõed omavahel võrreldavateks. Käesolevas töös loeti olulisteks tulvadeks juhtumeid, mis vastasid kahele tingimusele:

- Ööpäevane äravoolumooduli tõus oli võrdne või suurem kui vaadeldava jaama ajavahemiku standardhälve ($+1 \sigma$).
- Kiire äravoolumooduli tõus toimus samaaegselt vähemalt pooltes ühes vaadeldavas hüdromeetriaajaamade grupis olevates jaamades.

Kui eeltoodud tingimuste põhjal leiti sellised juhtumid, mil äravoolumooduli tõus oli piisavalt kiire, siis võeti muutused täpsema uurimise alla ning leiti kui mitmes jaamas toimusid samaaegselt sarnased suuremad äravoolu tõusud.

Kokku leiti 23 suuremat suvist tulvajuhtumit. Kõik tulvad olid seostatavad konkreetsete paduvihmadega ja need omakorda suhteliselt tugevate tsüklonitega. Kõige sagedasem ajavahemik tulvajuhtumite koguarvu poolest oli 1942–1949, kokku seitse tulva. Tulvade

rohked ajavahemikud oli ka 1978–1987 ja 1998–2009, kui mõlemal ajavahemikul oli kuus suuremat tulvajuhtumit. Seega kõikidest 23 juhtumist 19 on selgelt ära grupeerunud kolme lühemasse ajavahemikku, mida saab seostada ka sajurohkemate perioodidega. Aastad, kus suuremaid tulvasid ei esinenud, saab omakorda hästi seostada sademetevaeste perioodidega.

Igat juhtumi sai seostada tsüklonaalse aktiivsusega Eesti piirkonnas. Kokku leiti 33 tsüklonit, mis tõid kaasa tugevamaid sajuhooge, põhjustades seeläbi tulva. Nendest 16 olid läänetsüklonid, 15 lõunatsüklonid ning kahe tsükloni päritoluks võib ilmselt pidada Rõbinski veehoidlat. Selgus, et tulvade aegsed tsüklonid on üsna sügavad, 24 tsüklonist, mille puhul oli keskme madalaim õhurõhk teada, oli ainult üks selline madalrõhkkond, kus näit ei langenud alla 1000 hPa.

Kokkuvõttes võib öelda, et Eesti jõgede käitumine vastas üldiselt oodatule – väikestel valgalade äravoolumoodulite väärtused hakkasid tõusma 1–2 päeva peale paduvihma, nende piik oli järsk, mis tähendab, et vooluhulgad hakkasid peale äravoolu maksimumi kiiresti langema. Mida suurem oli vaadeldav valgala, seda laugem olid äravoolumooduli käik. Samas oli ka hulga näiteid, kus see reegel ei kehtinud ning oodatav äravoolu tõus hilines või jäi üldse ära. See näitab, et tulvade kujunemine Eesti jõgedel on keeruline protsess ja vajab edasist uurimist ja modelleerimist.

Flash floods in Estonian rivers during summer months throughout 1935–2015

Egert Indres

SUMMARY

This research aims to find and describe significant flash floods in the Estonian river during the summer months by factoring in the number of stations, which recorded the floods, the amount of precipitation, and what types of cyclones caused these floods. The critical aspect was the scale of the incident, meaning how many stations got hit by the sudden increase of the river runoff at the same time.

The first part focuses on the theoretical background, giving a brief overview of different definitions of a flash flood. Furthermore, this chapter outlines essential aspects of the history of flash flood research, brings out other methods used throughout different times, and explains why investigating the topic is vital for the future. This paper also briefly describes how and why climate change could potentially make future floods more dangerous than today.

The second part focuses on describing the methods and data used to find these significant flash floods in Estonia during summer months throughout 1935–2015 and giving an overview of the cases in different aspects – where runoff increased faster, how heavy rainfall was and what type of cyclones caused it. For the analysis, four datasets were used – discharge data from 36 hydrometric stations throughout, rainfall data from 94 different stations (both from Estonian Weather Service), weather maps from Wetterzentrale (1935–1947), and data of cyclone centers (1948–2012). For better data usage, hydrometric stations were divided into three groups, based on the first of the observations data available for this paper. Flash flood was considered a significant case if there was a daily runoff increase by at least one standard deviation, and it had to coincide at many stations.

Throughout 1935–2015, a total of 23 cases were found, and most of them (19) can be distinctively divided into three periods when floods were more frequent. These periods are 1942–1949, 1978–1987, and 1998–2009. Other cases happened in the early 1960s, and one occurred in 1935. All of these floods could be linked to intense rainfalls, caused by cyclones in Estonia's region. In total 33 cyclones were linked to significant flash floods. Most of these cyclones are western type (16) but many cyclones also formed at the Black Sea or the

Mediterranean, classified as southern cyclones (15). Out of 24 cyclones, where the lowest point of pressure was known, only one classified as shallow (>1000 hPa).

In conclusion, the analysis showed that flooding was more sudden at smaller river systems. Runoff started to increase up to two days after intense rainfalls. Smaller river systems' runoff peaked faster, therefore, the decrease was faster and increased at a slower pace at larger river systems. However, there were multiple examples of this rule not applying. In these cases, the expected increase of runoff was delayed or did not come at all. This shows that floods in Estonian rivers are a complicated process and need further researching.

TÄNUAVALDUSED

Soovin tänada oma juhendajat Mait Seppa, kelle juhendamiseta oleks käesoleva töö valmimine olnud võimatu ning oli igati koostööaldis. Lisaks soovin tänada sõpru, tuttavaid ja perekonda, kes mind toetasid ja motiveerisid töö kirjutamise ajal.

KASUTATUD KIRJANDUS

Adamovski, K. 2000. Regional analysis of annual maximum and partial duration flood data by nonparametric and L-moment methods. *Journal of Hydrology*, vol 229, pp. 219–231. DOI: 10.1016/S0022-1694(00)00156-6

Alfieri, L. Burek, P. Feyen, L. Forzieri, G. 2015. Global warming increases the frequency of river floods in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol 19, pp 2247–2260. DOI: 10.5194/hess-19-2247-2015

Ahmadalipour, A., Moradkhani, H. 2019. A data-driven analysis of flash flood hazard, fatalities, and damages over the CONUS during 1996–2017. *Journal of Hydrology*, vol 578. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.124106

Alipour, A., Ahmadalipour, A., Moradkhani, H. 2020. Assessing flash flood hazard and damages in the United States. *Journal of Flood Risk Management*, vol 13, issue 2. DOI: 10.1111/jfr3.12605

Alvre, P., Kukk, T., Künnap, A., Palmeos, P., Rajando, H., Seilenthal, T., Vääri, K. 1987. Uurali keelte sõnavara ja grammatiline ehitus. Tartu Riikliku Ülikooli toimetised. Tartu.

Archer, D.R., Leesch, F., Harwood, K. 2006., Learning from the extreme River Tyne flood in January 2005. *Water and Environment Journal*, vol 21, issue 2, pp 133–141. DOI: 10.1111/j.1747-6593.2006.00058.x

Archer, D.R., O'Donnell, G., Lamb, R., Warren, S., Fowler, H. J. 2019. Historical flash floods in England: New chronologies and database. *Journal of Flood Risk Management*, vol 12, issue S1. DOI: 10.1111/jfr3.12526

Barredo, J.I. 2006. Major flood disasters in Europe 1950–2005. *Natural Hazards*, vol 42, pp. 125–148. DOI: 10.1007/s11069-006-9065-2

Barrows, H.K. 1928. Flood discharge. *American Water Works Association*, vol 20, no 1, pp 87–89. DOI: 10.2307/208026

Bobee, B., Rasmussen, P.F. 1995. Recent advances in flood frequency analysis. *Reviews of geophysics*, supplement, pp 1111–1116. DOI: 10.1029/95RG00287

- Borga, M., Gaume, E., Creutin, J.D., Marchi, L. 2008. Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes. *Hydrological Processes*, vol 22 pp. 3883–3885. DOI: 10.1002/hyp.7111
- Borga, M., Anagnostou E.N., Blöschl, G., Creutin, J.-D. 2010. Flash floods: Observations and analysis of hydro-meteorological controls. *Journal of Hydrology*, vol 394, pp. 1–3. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.048
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z.W., Benito, G. 2006. Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 51:5, pp 739–764. DOI: 10.1623/hysj.51.5.739
- Connole, H., Smith, B., Wiseman, R. 1993. Research methodology 1: Issues and method in research. Study Guide. Melbourne, Deakin University.
- Dash, N., Gladwin, H. 2007. Evacuation Decision Making and Behavioral Responses: Individual and Household. *Natural Hazards Review*, vol 8, issue 3. DOI: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2007)8:3(69)
- Delrieu, G., Nicol, J., Yates, E., Kirstetter, P.-E., Creutin, J.-D., Anquetin, S., Obled, C., Saulnier, G.-M., Ducrocq, V., Gaume, E., Payrastre, O., Andrieu, H., Ayrat, P.-A., Bouvier, C., Neppel, L., Livet, M., Lang, M., du-Châtelet, J.P., Walpersdorf, A., Wobrock, W. 2005. The Catastrophic Flash Flood Event of 8–9 September 2002 in the Gard Region, France: A First Case Study for the Cévennes–Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory. *Journal of Hydrometeorology*, vol 6, issue 1, pp 34–52. DOI: 10.1175/JHM-400.1
- Dhar, O.N., Rakhecha, P.R., Mandal, B.N., Sangam, R.B. 1981. The rainstorm which caused the Morvi dam disaster in August 1979 / L'orage qui a provoqué la catastrophe du barrage Morvi août 1979, *Hydrological Sciences Bulletin*, 26:1, 71–81. DOI: 10.1080/02626668109490862
- Douben, K.-J. 2006. Characteristics of river floods and flooding: a global overview 1985–2003. *Irrigation and Drainage*, vol 55, pp 9–21. DOI: 10.1002/ird.239
- Douglas, I., Alam, K., Maghenda, M., McDonnell, Y., McLean, L., Campbell, J. 2008. Unjust waters: climate change, flooding and the poor urban in Africa. *Environment and Urbanization*, vol 20, issue 1, pp 187–205. DOI: 10.1177/0956247808089156
- Eagleson, P.S. 1972. Dynamics of flood frequency. *Water Resources Research*, vol 8, issue 4, pp 878–898. DOI: 10.1029/WR008i004p00878
- Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut (EMHI). 1999. Hüdroloogiline aastaraamat 1998. Tallinn. 75 lk.

Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut (EMHI). 2005. Hüdroloogiline aastaraamat 2004. Tallinn. 96 lk.

Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut (EMHI). 2009. Hüdroloogiline aastaraamat 2008. Tallinn. 97 lk.

Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut (EMHI). 2010. Hüdroloogiline aastaraamat 2009. Tallinn. 103 lk.

Gauk, M. 2015. Üleujutused Eesti linnades. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis, vol 112, pp. 53–67.

Gaume, E., Borga, M., 2008. Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations. Flood Risk Management, vol 1, pp. 175–189. DOI: 10.1111/j.1753-318X.2008.00023.x

Gaume E., Bain, V. Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blašikovicova, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulus, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I., Velasco, D., Viglione, A. 2009. A compilation of data on European flash floods. Journal of Hydrology, vol 367, pp. 70–78. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.12.028

Gaume, E., Borga, M., Llasat, M.C., Maouche, S., Lang, M., Diakakis, M. Mediterranean extreme floods and flash floods. 2016. The Mediterranean Region under Climate Change. A Scientific Update, IRD Editions, pp.133–144. HAL Id: hal-01465740

Girgus, R. & Strupczewski, W. 1965. *Wyjatk i ze zródel historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologicznometeorologicznych na ziemiach polskich w wiekach od X do XVI*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, Poland.

Greis, N.P. 1983. Flood frequency analysis: A review of 1979–1982. Reviews of Geophysics, vol 21, issue 3, pp 699–706. DOI: 10.1029/RG021i003p00699

Hashmi, H.N., Siddiqui, Q.T.M., Ghumman, A.R., Kamal, M.A., Mughal, H.R. 2012. A critical analysis of 2010 floods in Pakistan. African Journal of Agricultural Research, vol 7, pp 1054–1067. DOI:10.5897/AJARX11.036

Hailegeorgis, T.T., Abdella, Y.S., Alfredsen, K., Kolberg, S. 2015. Evaluation of Regionalization Methods for Hourly Continuous Streamflow Simulation Using Distributed

Models in Boreal Catchments. *Journal of Hydrologic Engineering*. Vol 20, issue 11. DOI: 1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001218

Hailegeorgis, T.T., Alfredsen, K. 2017. Regional flood frequency analysis and prediction in ungauged basins including estimation of major uncertainties for mid-Norway. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol 9, pp 104–126. DOI: 10.1016/j.ejrh.2016.11.004

Hoaglin, D.C., Light, R.L., McPeck, B., Mosteller, F., Stoto, M.A. 1982. *Data for Decisions: Information Strategies for Policymakers*. Abt Books, Cambridge, Massachusetts.

Hosking, J.R.M. 1990. L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 1990, Vol. 52, No. 1 (1990), pp. 105–124. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1990.tb01775.x

Hosking, J.R.M., Wallis J.R. 1993. Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water Resources Research*, vol 29, issue 2, pp 271–281. DOI: 10.1029/92WR01980

Indres, E. 2016. Sooja poolaasta tulvad Kasari jõgikonnas 2007–2015. Tartu Ülikool, ökoloogia ja maateaduste instituut, geograafia osakond. 53 lk.

Jones, P.D., Ogilvie, A.E.J. & Wigley, T.M.L. 1984. *Riverflow Data for the United Kingdom: Reconstructed Data Back to 1844 and Historical Data Back to 1556*, Climatic Research Unit, Norwich, UK.

Järvekül, R., Kesler, M., Pihu, R., Lauringson, G. 2012. Meriforelli kudejõgede taastootmispotentsiaali hindamine 2011, pp 29.

Järvet, A. 2015. Talvetulvad Eestis. *Eesti Loodus* 2015/1, pp 26–29.

Keskkonnaagentuur. 2015. *Hüdroloogiline aastaraamat 2014*. Tallinn. 79 lk.

Keskkonnagentuur. 2019a. Riigi Ilmateenistuse juuni–august ööpäevaste keskmiste vooluhulkade andmed.

Keskkonnagentuur. 2019b. Riigi Ilmateenistuse juuni–august ööpäevased sademete summad 1935–2015.

Keskkonnaministeerium. 2011. Üleujutusohuga seotud riskide esialgse hinnangu aruanne. 71 lk.

Keskkonnaministeerium. 2018. Üleujutustega seotud riskide hindamine. Tallinn. 32 lk.

- Kirby, W. H., Moss, M. E. 1987. Summary of flood-frequency analysis in the United States. *Journal of Hydrology*, vol 96, issues 1–4, pp 5–14. DOI: 10.1016/0022-1694(87)90139-9
- Kotyza, O., Cvrk, F. & Pažourek, V. 1995. *Historické povodně na dolním Labi a Vltavě*. Okresní muzeum v Decíně, Decín, Czech Republic.
- Kundzewicz, Z.W., Hirabayashi, Y., Kanae, S. 2010. River floods in the Changing climate – observations and projections. *Water Resource Management*, vol 24, pp. 2633–2646. DOI: 10.1007/s11269-009-9571-6
- Laloyaux, P., de Boisseson, E., Balmaseda, M. Bidlot, J.-R., Broennimann, S., Buizza, R., Dalhgren, P., Dee, D., Haimberger, L., Kosaka, Y., Martin, M., Poli, P., Rayner, N., Rustemeier, E., Schepers, D. 2018. CERA-20C: CERA-20C: A Coupled Reanalysis of the Twentieth Century. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, Volume 10, Issue 5 p. 1172–1195. DOI: 10.1029/2018MS001273
- Llasat, M.C., Marcos, R., Turco, M., Gilabert, J., Llasat-Botija, M. 2016. Flash floods trends versus convective precipitation in a Mediterranean region. *Journal of Hydrology*, vol 541, part A, pp 24–37. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.05.040
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Gaume, E., 2010. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, vol 394, pp. 118–133. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.017
- Merirand, M. 2019. Üleujutuste mõju arvestamine Pärnu linna planeerimises. Magistritöö linna- ja tööstusmaastike korralduse õppekavas. Eesti Maaülikool. 63 lk.
- Merz, R., Blöschl G. 2008. Flood frequency hydrology: 1. Temporal, spatial and causal expansion of information. *Water Resources research*, vol 44, W08432. DOI: 10.1029/2007WR006744
- Mitchell, J.K. 2003. European river floods in a changing world. *Risk Analysis*, vol 23, no 3, pp 567–574. DOI: 10.1111/1539-6924.00337
- Moora, H. 1931. Muinasteaduslikke kogude juht. Eesti Rahva Muuseumi väljaanne, nr 34. Tartu.
- Morss, R.E., Mulder, K.J., Lazo, J.K., Demuth, J.L. 2015. How do people perceive, understand, and anticipate responding to flashflood risks and warnings? Results from a public survey in

- Boulder, Colorado, USA. *Journal of Hydrology*, vol 541, pp 649–664. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.11.047
- Mugra, T. Sults, Ü. 2006. Juhise ning tegevuskava koostamine üleujutusriskide haldamiseks. Projekteerimisbüroo MAA ja VESI AS.
- Mälk, R. 2017. Maareformi rakendamise protsess Saaremaal Lümada valla mõisate näitel 1919–1925. Tallinna Ülikool, Humanitaarteaduste Instituut.
- Mändla, K. 2014. Southern cyclones in northern Europe and their influence on climate variability. *Dissertationes geographicae Universitas Tartuensis*, vol 54.
- Mätlik, O., Post, P. 2008. Synoptic weather types that have caused heavy precipitation in Estonia in the period 1961–2005. *Estonian Journal of Engineering*, vol 14, issue 3, pp 195–208. DOI: 10.3176/eng.2008.3.01
- Nöges, P., Jaagus, J., Järvet, A., Nöges, T., Laas, A. 2012. Kliimamuutuse mõju veeökosüsteemidele ning põhjaveele Eestis ja sellest tulenevad veeseireprogrammi võimalikud arengusuunad. Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituut.
- Papagiannaki, K., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bezes, A. 2015. Flash flood occurrence and relation to the rainfall hazard in a highly urbanized area. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol 15, pp 1859–1871. DOI: 10.5194/nhess-15-1859-2015
- Pelling, M. 1997. What determines vulnerability to floods, a case study in Georgetown, Guyana. *Environmental Problems*. Vol 9, No 1. DOI: 10.1177/095624789700900116
- Potter, K.W. 1987. Research on flood frequency analysis: 1983–1986. *Reviews of Geophysics*, vol 25, issue 2, pp 113–118. DOI: 10.1029/RG025i002p00113
- Pötzsch, C.G. 1784. *Chronologische Geschichte der grossen Wasserfluthen des Elbstroms*. Walther, Dresden, Germany.
- Reisenbühler, M, Bui, M.D., Skublics, D., Rutschmann, P. 2019. An integrated approach for investigating the correlation between floods and river morphology: A case study of the Saalach River, Germany. *Science of The Total Environment*, vol 647, pp 814–826. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.018

- Saf, B. 2008. Regional Flood Frequency Analysis Using L-Moments for the West Mediterranean Region of Turkey. *Water Resource Management*, vol 23, pp 531–551. DOI: 10.1007/s11269-008-9287-z
- Sepp, M. 2006. Kui palju maksab paduvihm. *Eesti Loodus* 2006/8.
- Sepp, M. 2009. Changes in frequency of Baltic Sea cyclones and their relationships with NAO and climate in Estonia. *Boreal Environment Research*, 14, 143–151.
- Sepp, M., Post, P., Mändla, K., Aunap, R. 2018. On cyclones entering the Baltic Sea region. *Boreal Environment Research*, 23, 1–14.
- Smith, A., Sampson, C., Bates, P. 2014. Regional flood frequency analysis at the global scale. *Water Resources Research*, vol 51, issue 1, pp 539–553. DOI: 10.1002/2014WR015814
- Stedinger, J.R., Lu, L.-H. 1995. Appraisal of regional and index flood quantile estimators. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, vol 9, pp 49–75. DOI: 10.1007/BF01581758
- Špitalar, M., Gourley, J.J., Lutoff, C., Kirstetter, P.-E., Brilly, M., Carr, N., 2014. Analysis of flash flood parameters and human impacts in the US from 2006 to 2012. *Journal of Hydrology*, vol 519, part A, pp 863–870. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.07.004
- Tamm, T. 2015. Paduvihmadest põhjustatud üleujutuste modelleerimine – Pärnu näide. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*, vol 112, pp. 79–86.
- Tammets, T. 2007. Distribution of extreme wet and dry days in Estonia in last 50 years. *Estonian Journal of Engineering*, vol 13, issue 3, pp 252–259.
- Tammets, T. 2012. Eesti ilma riskid. Eesti Entsüklopeediakirjastus koostöös Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudiga. 152 lk.
- Tammets, T., Jaagus, J. 2013. Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals. *Theoretical and Applied Climatology*, vol 111, pp 623–639. DOI: 10.1007/s00704-012-0691-1.
- Tarolli, P., Borga, M., Morin, E., Delrieu, G. 2012. Analysis of flash flood regimes in the North-Western and South-Eastern Mediterranean regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol 12, pp 1255–1262. DOI: 10.5194/nhess-12-1255-2012

Terranova, O.G., Gariano, S.L. 2014. Rainstorms able to induce flash floods in a Mediterranean-climate region (Calabria, Southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol, pp 2049–2078. DOI: 10.5194/nhess-14-2423-2014

Testa, G., Zuccala, D., Alcrudo F., Mulet, J., Soares-Fraza, S. 2010. Flash flood flow experiment in simplified urban district. *Journal of Hydraulic Research*, vol 45, pp 37–44. DOI: 10.1080/00221686.2007.9521831

Tilinina N., Gulev S.K., Rudeva I. & Koltermann P. 2013. Comparing Cyclone Life Cycle Characteristics and Their Interannual Variability in Different Reanalyses. *J. Climate* 26: 6419–6438. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00777.1

Wanner, H., Beck, C., Brázdil, R., Casty, C., Deutsch, M., Glaser, R., Jacobeit, J., Luterbacher, J., Pfister, C., Pohl, S., Sturm, K., Werner, P.C., Xoplaki, E. 2004. Dynamic and socioeconomic aspects of historical floods in Central Europe. *Erdkunde*, Band 58, Heft 1, pp 1–16.

Weikinn, C. 1958–2002. *Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850. Hydrographie*. Teil 1 (Zeitwende–1500), 1958; Teil 2 (1501–1600), 1960; Teil 3 (1601–1700), 1961; Teil 4 (1701–1750), 1963; Teil 5 (1751–1800), 2000; Teil 6 (1801–1850), 2002. Akademie-Verlag, Berlin, Germany.

Interneti allikad

Davies, R. 2014. Flash floods in Navarra, Spain after river overflows. Floodlist. <http://floodlist.com/europe/flash-floods-navarra-spain-baztan-river-overflows>. Viimati vaadatud 20.11.2020.

National Weather Service. Flash flood definition. <https://www.weather.gov/phi/FlashFloodingDefinition>. Viimati vaadatud 12.03.2020

Keskkonnaagentuuri EELISe avalik WMS/WFS teenus (jõgikondade valgalade kaardikiht). <https://gsavalik.envir.ee/geoserver/eelis/ows?>. Viimati vaadatud 27.04.2021

Maa-amet. Maa-ameti haldusjaotuse kaardikiht. Maa-ameti geoportaal. <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Haldus-ja-asustusjaotus-p119.html>. Viimati vaadatud 20.03.2020

Masoero, A. 2016. Bolivia – Warnings as River Levels Rise in the South, Flash Floods in La Paz. Floodlist. <http://floodlist.com/america/bolivia-river-levels-rise-south-flash-floods-la-paz>. Viimati vaadatud 20.11.2020.

Vainküla, K. 2006. Aasta aega tagasi oli vesi õues rinnuni. Peanupp ehk oleks välja jäänud. Alles nüüd hakkab uputusest toibuma...Õhtuleht, 9.01.2006. Viimati vaadatud 11.12.2020

Wetterzentrale. Wetterzentrale ERA ilmakaartide arhiiv 1900–2015. <https://www.wetterzentrale.de/en/reanalysis.php?model=era>. Viimati vaadatud 19.03.2021

Õigusaktid

Suurte üleujutusala-dega siseveekogude nimistu ja nendel siseveekogudel kõrgveepiiri määramise kord. Vastu võetud 28.05.2004, RTL 2004, 72, 1192.

LISAD

LISA 1

Ülevaade töös kasutatud sademete mõõtejaamadest, andmete ajavahemikust ja mõõdetud aastate arvust. Mõõdetud aastate arv näitab, mitme aasta kohta reaalselt sademete andmeid jaamast saada oli.

Num- ber jooni- sel 2	Jaama nimi	Andmete ajavahemik	Mõõde- tud aastaid	Num- ber jooni- sel 2	Jaama nimi	Andmete ajavahemik	Mõõde- tud aastaid
1	Ahja	1960–2009	50	22	Kihnu	1935–2015	77
2	Alajõe	1978–2005	38	23	Kiisa	1954–1996	43
3	Altja (Oandu)	1946–2015	70	24	Kodavere	1954–1987	34
4	Antsla	1947–1987	40	25	Kolga	1954–1987	34
5	Aruvalla	1950–1996	45	26	Konnuvere	1948–1996	49
6	Dirhami	1935–2008	60	27	Konuvvere	1945–2015	64
7	Ellamaa	1945–1996	52	28	Koodu	1945–2015	70
8	Elva	1946–2015	52	29	Koorvere	1948–1996	49
9	Haanja	1963–1996	34	30	Kunda	1935–2015	75
10	Heltermaa	1951–2015	65	31	Kuressaare	1949–2000	52
11	Himmiste	1948–1997	50	32	Kuusiku	1935–2015	81
12	Hirvli	1947–1987	41	33	Kuustle	1947–1997	51
13	Hüüru	1948–1987	40	34	Kärdla	1964–1999	36
14	Jõgeva	1935–2015	81	35	Kääpa	1955–2015	59
15	Jõhvi	1958–2015	58	36	Kükita	1945–1986	43
16	Jägala	1948–1987	40	37	Luguse	1970–2015	46
17	Jäärja	1946–1996	51	38	Lääne- Nigula	1964–2015	52
18	Karja	1954–1996	43	39	Lüganuse	1946–2009	64
19	Kasari	1945–2015	71	40	Maapaju	1946–1996	51
20	Kastre	1946–1996	51	41	Massumõi- sa	1946–2015	70
21	Keila	1949–2015	67	42	Mauri	1947–2007	61

LISA 1 (järg).

Num- ber jooni- sel 2	Jaama nimi	Andmete ajavahemik	Mõõde- tud aastaid	Num- ber jooni- sel 2	Jaama nimi	Andmete ajavahemik	Mõõde- tud aastaid
43	Mehikoor- ma	1948–2015	68	69	Tallinn- Ülemiste	1938–1979	36
44	Naissaare	1945–1993	49	70	Tamsalu	1948–1987	40
45	Narva	1947–2015	56	71	Tartu- Tõravere	1965–2015	51
46	Narva- Jõesuu	1935–2013	41	72	Tartu- Ülenurme	1950–1996	47
47	Nääri	1946–1996	51	73	Tiirikoja	1935–2015	81
48	Oore	1945–2015	71	74	Tipu	1956–1987	32
49	Pajupea	1946–1987	42	75	Tooma	1935–2015	81
50	Pajusi	1945–2015	64	76	Tudu	1945–2015	70
51	Pakri	1935–2015	80	77	Tudulinna	1956–2010	55
52	Paunküla	1946–1991	46	78	Tõlliste	1946–2015	70
53	Piigaste	1952–2015	64	79	Tõrva	1946–2009	64
54	Praaga	1946–2015	70	80	Tõrve	1946–2009	64
55	Prangli	1955–1987	30	81	Türi	1941–2015	75
56	Pärnu	1935–2015	81	82	Ulila	1946–1996	51
57	Rannu- Jõesuu	1954–2015	62	83	Urissaare	1958–1987	30
58	Ristna	1935–2015	79	84	Uue-Lõve	1958–2015	58
59	Rohuküla	1951–2008	58	85	Valga	1935–2015	76
60	Ruhnu	1935–2015	79	86	Vanaküla	1965–2015	51
61	Räpina	1953–2009	57	87	Vasknarva	1945–2015	70
62	Saku	1969–2001	33	88	Vastseliina	1958–1996	39
63	Simuna	1955–1985	31	89	Vihterpalu	1948–2015	66
64	Surju	1947–1989	41	90	Viljandi	1937–2015	79
65	Sõrve	1935–2015	76	91	Vilsandi	1935–2015	77
66	Sämi	1949–2015	67	92	Virtsu	1935–2015	76
67	Tahkuse	1945–2015	71	93	Võru	1935–2015	79
68	Tallinn- Harku	1980–2015	36	94	Väike- Maarja	1962–2015	54

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, **Egert Indres**,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose,
„Suvekuude tulvad Eesti jõgedel 1935–2015“,

mille juhendaja on **Mait Sepp**,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Egert Indres

24.05.2021